

CLÁUDIA PEREIRA KRUEGER

INVESTIGAÇÕES SOBRE APLICAÇÕES DE ALTA PRECISÃO DO GPS NO ÂMBITO MARINHO

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Doutora.

Orientadores:

Prof. Dr. Günter Seeber - Universidade de Hannover.

Prof. Dr. Milton de Azevedo Campos - UFPR.

CURITIBA

1996

INVESTIGAÇÕES SOBRE APLICAÇÕES DE ALTA PRECISÃO DO GPS NO ÂMBITO MARINHO

POR

CLÁUDIA PEREIRA KRUEGER

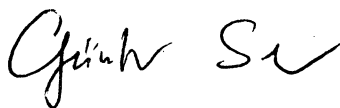
Tese aprovada como requisito parcial do grau de Doutora no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:



Prof. Dr. SÍLVIO ROGÉRIO CORREIA DE FREITAS - Presidente



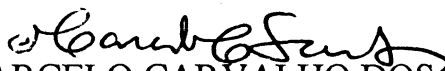
Prof. Dr. MILTON DE AZEVEDO CAMPOS - Orientador (Brasil)



Prof. Dr. GÜNTER SEEBER - Orientador (Alemanha)



Prof. Dr. JOÃO FRANCISCO GALERA MÔNICO - Membro



Prof. Dr. MARCELO CARVALHO DOS SANTOS - Membro

AGRADECIMENTOS

Inicialmente gostaria de agradecer aos meus pais o incansável apoio e incentivo demonstrados durante a elaboração desta tese, e a força recebida no período em que estive desenvolvendo parte deste trabalho na Alemanha, não permitindo o meu esmorecimento. A meu irmão, o apoio na realização das imagens, desta tese e a meu primo João Carlos, o incentivo e idéias.

Ao professor Dr. Günter Seeber, a orientação, apoio, idéias e incentivos recebidos na Alemanha e no Brasil, bem como a chance do intercâmbio tecnológico e cultural entre a Universidade Federal do Paraná e a Universidade de Hannover (IfE).

Ao professor Dr. Milton de Azevedo Campos, os conselhos, sugestões, idéias e apoio durante o desenvolvimento desta tese, bem como a motivação na realização deste doutorado na modalidade "sanduiche".

Ao *Deutscher Akademischer Austauschdienst* - DAAD - a chance em realizar este doutorado na modalidade "sanduiche" e a bolsa de estudos recebida durante o período em que estive na Alemanha. Em especial, gostaria de agradecer aos seguintes membros do DAAD: a Frau Ingelore Benevides, Herr Andreas Sielaff e a Frau Helga Wahre, que estiveram sempre prontos a responder qualquer pergunta e auxiliar nas dificuldades.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES - a passagem aérea recebida, bem como a atenção.

A todos os membros e estagiários do *Institut für Erdmessung* (IfE) o auxílio, apoio, ensinamentos tecnológicos e paciência com que pude contar nesse período, em especial a Ing. Christof Völksen, Ing. Falko Menge, Ing. Martin Schmidt, Ing. Volker Böder e Dr. Ing. Hans-Jürgen Goldan.

A toda a equipe do Centro de Estudos do Mar (CEM) a atenção, carinho e auxílio nos levantamentos de campo no Balneário de Pontal do Sul. Em especial: ao Mestre Carlos Roberto Soares, o incansável auxílio nos levantamentos e a amizade; ao Dr. Eduardo Marone, o apoio e as idéias; e ao André Miguel J. Guisantes, o excelente manejo da embarcação e o auxílio dedicado a minha pessoa.

Gostaria de agradecer, o apoio do Instituto Ambiental do Paraná/Secretaria do Meio Ambiente (IAP/SEMA), na implantação de pontos de apoio na região do Balneário de Pontal do Sul, em especial ao Eng. Carlos Pinto.

Ao mestrando Marcelo Cunha, aos alunos da graduação Alexandre do Prado, Fernando B. Pilati, Hilton A. Masuko, Carlos A. Fernandes Júnior e Maurício Krüger e à geóloga Célia Riesemberg, o auxílio nos levantamentos de campo e colaboração nos trabalhos.

À empresa TRIMBASE, o empréstimo de equipamento e os esclarecimentos quando se fizeram necessários.

À Companhia de Energia Elétrica – COPEL –, pelo empréstimo dos receptores *Ashtech Z-XII*, em especial na pessoa do Eng. Ari Marques.

A todos os amigos e colegas que contribuíram direta ou indiretamente na elaboração desta tese, bem como àqueles que forneceram palavras de incentivo durante o seu desenvolvimento, tanto no Brasil quanto na Alemanha.

" A grandeza de um Homem se faz mercê de muito Trabalho, Dedicação e Vontade de bem servir a uma nobre causa "

A. Lincon

Dedico essa tese aos meus queridos pais e a todos os meus mestres que contribuíram na minha formação levando ao meu crescimento

SUMÁRIO

SUMÁRIO	V
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE GRÁFICOS	XII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XV
RESUMO	XVII
ABSTRACT	XIX

1	INTRODUÇÃO	01
2	PRINCÍPIOS BÁSICOS	05
2.1	SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)	05
2.2	SINAIS UTILIZADOS	08
2.3	ESTRATÉGIAS DE OBSERVAÇÃO	10
2.3.1	POSICIONAMENTO ABSOLUTO	11
2.3.2	POSICIONAMENTO RELATIVO	16
2.4	COMBINAÇÃO LINEAR ENTRE AS FASES DA PORTADORA	24
2.5	DETERMINAÇÃO DAS AMBIGÜIDADES	27
2.6	ERROS DO SISTEMA	32
2.7	RECEPTORES	38
2.8	PROGRAMAS	41
2.8.1	GEONAP	42
2.8.2	PRISM	48
2.8.3	COMPASS	48
2.8.4	GNRT	49
2.8.5	HYMAS	50
2.8.6	HYPACK	51
3	SISTEMAS DGPS E PDGPS	52
3.1	PRINCÍPIO DGPS E RTDGPS	52
3.2	PRINCÍPIO PDGPS E RTPDGPS	55
3.3	SERVIÇOS	58
3.4	RTCM - FORMATO PARA A TRANSFERÊNCIA DOS DADOS	64
3.4.1	A COMPOSIÇÃO DO FORMATO DOS DADOS	65
3.4.2	A TAXA DE TRANSFERÊNCIA DOS DADOS	72
3.5	SISTEMA DE COMUNICAÇÃO	74
3.5.1	PROPAGAÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS NA ATMOSFERA	75
3.5.2	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS DIFERENTES FREQUÊNCIAS	76
3.5.3	COMUNICAÇÃO COM SATÉLITES MÓVEIS	78
3.5.4	OUTROS SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO	79
4	INTEGRAÇÃO DO GPS E DA ECOBATIMETRIA	82
4.1	SISTEMA TRIDIMENSIONAL DE COORDENADAS	
	CARTESIANAS DA EMBARCAÇÃO	84
4.2	SISTEMA DE ALTITUDE	86
4.3	ORDENAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL	90
4.4	FATORES QUE INFLUENCIAM NA PRECISÃO DA MEDIDA	
	DE PROFUNDIDADE	90
4.4.1	A INFLUÊNCIA DOS ÂNGULOS DE INCLINAÇÃO DA EMBARCAÇÃO	
	E DA INCLINAÇÃO DE TERRENO NO POSICIONAMENTO	93
4.4.2	SINCRONISMO ENTRE O GPS E O ECOBATÍMETRO	97
4.4.3	ORDENAÇÃO DAS PROFUNDIDADES (<i>BESCHICKUNG</i>)	100

4.4.4	DESLOCAMENTO VERTICAL (<i>SQUAT</i>)	104
4.4.5	VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DO SOM NA ÁGUA	106
4.4.6	A INFLUÊNCIA DE TODAS AS GRANDEZAS NA PRECISÃO DA PROFUNDIDADE	106
4.5	CONCLUSÃO	108
5	LEVANTAMENTO NO MAR DO NORTE	109
5.1	INTRODUÇÃO E OBJETIVO DA INVESTIGAÇÃO	109
5.2	SISTEMA DE REFERÊNCIA PARA A COSTA DO MAR DO NORTE	110
5.3	LEVANTAMENTO DE CAMPO	113
5.3.1	EQUIPAMENTOS	113
5.3.2	ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA	114
5.3.3	ESTAÇÕES MÓVEIS	116
5.3.4	METODOLOGIA	116
5.4	PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	118
5.4.1	OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DAS ESTAÇÕES MSD8 E HELG	118
5.4.2	CONSTELAÇÃO DE SATÉLITES PARA AS ESTAÇÕES EM 26.04.95	120
5.4.3	ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES EM 26.04.95	121
5.4.4	OBTENÇÃO DA TRAJETÓRIA DESCRITA PELO WEGA	123
5.4.4.1	TRAJETÓRIA BC (HELG x ASBM) DESCRITA PELO WEGA	123
5.4.4.2	TRAJETÓRIA BL (MSD8 x ASBM) DESCRITA PELO WEGA	129
5.4.4.3	VERIFICAÇÃO DOS EFEITOS IONOSFÉRICOS DURANTE OS LEVANTAMENTOS	136
5.4.4.4	SOLUÇÃO PDGPS PARA ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA DISTINTAS	138
5.4.5	INVESTIGAÇÕES DAS SOLUÇÕES PDGPS OBTIDAS EM 5.4.4.4	140
5.4.5.1	1ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA	141
5.4.5.2	2ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA	144
5.4.5.3	3ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA	145
5.4.5.4	4ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA	148
5.4.5.5	5ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA	151
5.4.5.6	6ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA	154
5.5	ANÁLISES	156
6	LEVANTAMENTO NA PONTA DO POÇO	
6.1	INTRODUÇÃO E SITUAÇÃO DO USO DO DGPS NO BRASIL	160
6.2	SISTEMA DE REFERÊNCIA PARA A COSTA BRASILEIRA	162
6.3	LEVANTAMENTO ESTÁTICO	164
6.3.1	METODOLOGIA	164
6.3.2	PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS	165
6.3.2.1	OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DA ESTAÇÃO CEM	165
6.3.2.2	OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DA ESTAÇÃO COPP	167
6.3.2.3	OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DA ESTAÇÃO TECH	169
6.3.2.4	OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DA ESTAÇÃO PRPC	170
6.3.2.5	COORDENADAS FINAIS PARA AS ESTAÇÕES	171
6.4	LEVANTAMENTO DA LINHA DE COSTA	172
6.4.1	METODOLOGIA	173
6.4.2	PROCESSAMENTO DOS DADOS E RESULTADOS OBTIDOS	174
6.4.3	ANÁLISE DOS DADOS	175
6.5	LEVANTAMENTO DOS PERFIS COM O SISTEMA DGPS	179
6.5.1	EQUIPAMENTOS	179
6.5.2	ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA	180
6.5.3	ESTAÇÃO MÓVEL	181
6.5.4	METODOLOGIA	183
6.5.5	PROCESSAMENTO DOS DADOS	185
6.5.5.1	PROCESSAMENTO DOS DADOS DA ÁREA A	187
6.5.5.2	PROCESSAMENTO DOS DADOS DA ÁREA B	188
6.5.5.3	PROCESSAMENTO DOS DADOS DA ÁREA C	190

6.5.6	ANÁLISE DOS DADOS	195
6.6	CAPACIDADE DE SOLUÇÃO PDGPS	197
6.6.1	ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA	197
6.6.1.1	OBTENÇÃO DAS COORDENADAS PGUA	197
6.6.2	METODOLOGIA	201
6.6.3	PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	202
6.6.3.1	CONSTELAÇÃO DE SATÉLITES PARA AS ESTAÇÕES EM 26.08.96	203
6.6.3.2	ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES EM 26.08.96	204
6.6.3.3	OBTENÇÃO DA TRAJETÓRIA DESCRITA PELA EMBARCAÇÃO UTILIZANDO O PROGRAMA GEONAP	205
6.6.3.3.1	TRAJETÓRIA BC (PGUA x ROVE) DESCRITA PELA EMBARCAÇÃO	205
6.6.3.3.2	TRAJETÓRIA BL (ECC3 x ROVE) DESCRITA PELA EMBARCAÇÃO	214
6.6.3.4	VERIFICAÇÃO DOS EFEITOS IONOSFÉRICOS DURANTE OS LEVANTAMENTOS	221
6.6.3.5	SOLUÇÃO PDGPS PARA ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA DISTINTAS	223
6.6.3.6	INVESTIGAÇÕES DAS SOLUÇÕES PDGPS OBTIDAS EM 6.6.3.5	225
6.6.3.6.1	1ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA	226
6.6.3.6.2	2ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA	228
6.6.3.6.3	3ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA	230
6.6.3.6.4	4ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA	232
6.6.3.6.5	5ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA	234
6.6.3.6.6	6ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA	237
6.7	ANÁLISES	239
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	243
	ANEXO 01	247
	ANEXO 02	249
	ANEXO 03	250
	ANEXO 04	251
	ANEXO 05	252
	ANEXO 06	253
	ANEXO 07	254
	ANEXO 08	255
	ANEXO 09	258
	ANEXO 10	259
	ANEXO 11	260
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	261

LISTA DE FIGURAS

01	ESTRUTURA DO SINAL GPS	09
02	PRECISÃO PARA O POSICIONAMENTO CINEMÁTICO COM O GPS	11
03	APRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA PARA A DETERMINAÇÃO DA POSIÇÃO COM O GPS	12
04	PRINCÍPIO DO POSICIONAMENTO POR PONTO COM AS PSEUDODISTÂNCIAS	13
05	ILUSTRAÇÃO PARA A MEDIDA DA FASE DA PORTADORA	19
06	TRIPLA DIFERENÇA DE FASE - TDF	22
07	TÉCNICAS APLICADAS PELOS RECEPTORES	40
08	FLUXOGRAMA GEONAP	46
09	SISTEMA DGPS	52
10	ERRO DE POSICIONAMENTO HORIZONTAL PARA UMA MESMA TRAJETÓRIA	57
11	DIFERENÇAS ENTRE TRAJETÓRIAS OBTIDAS EM RTK E NO PÓS-PROCESSAMENTO COM O GEONAP	58
12	ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA PARA ATENDER AOS SERVIÇOS HEPS	61
13	REDE BRASILEIRA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO	62
14	SISTEMA WADGPS	63
15	CONTEÚDO DAS DUAS PRIMEIRAS PALAVRAS	65
16	ERRO DE POSIÇÃO x TAXA DE ATUALIZAÇÃO	73
17	PROPAGAÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS NA ATMOSFERA	76
18	FREQÜÊNCIA x PRECISÃO NO POSICIONAMENTO	81
19	MÉTODO CONVENCIONAL PARA AS OBSERVAÇÕES BATIMÉTRICAS	83
20	MÉTODO INTEGRADO (GPS/ECO) PARA AS OBSERVAÇÕES BATIMÉTRICAS	83
21	OS MOVIMENTOS DA EMBARCAÇÃO	85
22	DEFINIÇÃO DOS AZIMUTES	86
23	ALTITUDES ORTOMÉTRICA E GEOMÉTRICA	87
24	DETERMINAÇÃO DA ALTURA DA ANTENA NO BARCO COM O GPS E LEITURAS DE MARÉ	88
25	MODELO GLOBAL DAS GRANDEZAS ENVOLVIDAS NO LEVANTAMENTO DE PROFUNDIDADE	92
26	POSICIONAMENTO DA ANTENA GPS EM RELAÇÃO À SONDA E O EFEITO DO ÂNGULO γ NA PRECISÃO DA POSIÇÃO	93
27	ERRO NA DETERMINAÇÃO DA PROFUNDIDADE EM FUNÇÃO DO γ	94
28	RELAÇÃO GEOMÉTRICA DO SISTEMA	95
29	SINCRONISMO ENTRE OS SISTEMAS	99
30	ERRO DE POSICIONAMENTO DEVIDO A FALTA DE SINCRONIZAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS	100
31	SISTEMA DE NIVELAMENTO A LASER	101
32	CARTA PARA A DETERMINAÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA	103
33	DESLOCAMENTO VERTICAL (SQUAT)	105
34	NÍVEIS DE REFERÊNCIA ALTIMÉTRICOS - MAR DO NORTE	112
35	LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA E DA EMBARCAÇÃO WEGA	115
36	LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES MÓVEIS NA EMBARCAÇÃO	116
37	POSIÇÃO DA ANTENA ASBM NO NAVIO <i>WEGA</i>	117
38	CURVA PARA COMPARAÇÃO	137
39	MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	161
40	REFERÊNCIA DE NÍVEL - ITC	163
41	PRESENÇA MARCANTE DA EROÇÃO NA ÁREA EM ESTUDO	173
42	LINHA DE COSTA OBTIDA COM O SISTEMA GPS EM 1996	174
43	SITUAÇÃO DO BALNEÁRIO PONTAL DO SUL EM 1953	175
44	SITUAÇÃO DO BALNEÁRIO PONTAL DO SUL EM 1994	176
45	SOBREPOSIÇÃO DA LINHA DE COSTA DE 1953 E 1996	177
46	VISIBILIDADE DOS SATÉLITES E INFORMAÇÕES SOBRE AS PERDAS DE CICLOS E SOBRE O PDOP NA ESTAÇÃO MÓVEL	178

47	ESTAÇÃO MÓVEL NA EMBARCAÇÃO GEO	181
48	ANTENA CINEMÁTICA E TRANSDUTOR	182
49	ESQUEMA DA EMBARCAÇÃO E DA POSIÇÃO DO TRANSDUTOR	182
50	LINHAS DE SONDAGEM PLANEJADAS	184
51	CURVA DE MARÉ PARA O PERÍODO DE 31.07.96 das 9h 40m às 21h	185
52	LINHAS DE SONDAGEM EXECUTADAS NA REGIÃO	186
53	LINHA NAVEGADA E PERFIL CORRESPONDENTE	186
54	LINHAS DE SONDAGEM EXECUTADAS NA ÁREA A	187
55	LINHAS DE SONDAGEM EXECUTADAS NA ÁREA B	189
56	LINHAS DE SONDAGEM ANALISADAS NO PRIMEIRO ESTUDO DA ÁREA C	191
57	LINHAS DE SONDAGEM ANALISADAS NO SEGUNDO ESTUDO DA ÁREA C	193
58	LINHAS DE SONDAGEM ANALISADAS NO TERCEIRO ESTUDO DA ÁREA C	193
59	LINHAS DE SONDAGEM ANALISADAS NO QUARTO ESTUDO DA ÁREA C	194
60	PERFIS REALIZADOS EM 26.08.96 PELA EMBARCAÇÃO	202

LISTA DE TABELAS

01	CONSTELAÇÃO GPS (1996)	06
02	PRECISÃO NO POSICIONAMENTO ABSOLUTO	08
03	CARACTERÍSTICAS DOS SINAIS GPS	09
04	ERROS PARA O POSICIONAMENTO ABSOLUTO	16
05	ERROS PARA A SIMPLES DIFERENÇA DE FASE	21
06	COMBINAÇÃO LINEAR DA FASE DAS PORTADORAS	27
07	PRECISÃO HORIZONTAL EM FUNÇÃO DA IDADE DAS CORREÇÕES	55
08	SERVIÇOS DGPS E SEUS CRITÉRIOS DE DIFERENCIAÇÃO	60
09	MENSAGENS RTCM 2.1	68
10	DURAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DOS DADOS PARA A MENSAGEM TIPO1	73
11	DOMÍNIO DAS FREQUÊNCIAS	75
12	ERROS NA DETERMINAÇÃO DA PROFUNDIDADE EM FUNÇÃO DE α E DO ERRO DE POSICIONAMENTO	97
13	CONDIÇÕES DE CONTOURNO PARA OS DIFERENTES ÂMBITOS	107
14	COORDENADAS DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA NO WGS84	114
15	LINHAS DE BASE (DADOS ESTÁTICOS)	118
16	TRAJETÓRIAS DESCRITAS PELO WEGA (DADOS CINEMÁTICOS)	118
17	COORDENADAS DE MSD8 NO SISTEMA WGS84	119
18	COORDENADAS DE HELG NO SISTEMA WGS84	119
19	SOLUÇÕES DA TRAJETÓRIA BC	124
20	SOLUÇÕES DA TRAJETÓRIA BL	129
21	DIFERENTES INVESTIGAÇÕES	141
22	COORDENADAS DO MARCO ECC3 (WGS84)	164
23	LINHAS DE BASE (DADOS ESTÁTICOS)	165
24	PROCESSAMENTOS REALIZADOS PARA A OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DO CEM (LB1)	166
25	COORDENADAS DO CEM (LB1)	166
26	DIFERENÇAS ENTRE AS SOLUÇÕES OBTIDAS NOS PROCESSAMENTOS (LB1)	166
27	DESVIOS PADRÃO OBTIDOS NOS PROCESSAMENTOS (LB1)	167
28	PROCESSAMENTOS REALIZADOS PARA A OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DO COPP (LB2)	168
29	COORDENADAS DO COPP (LB2)	168
30	DESVIOS PADRÃO OBTIDOS NOS PROCESSAMENTOS (LB2)	168
31	COORDENADAS DO TECH (LB3)	169
32	DESVIOS PADRÃO OBTIDOS NOS PROCESSAMENTOS (LB3)	170
33	COORDENADAS DO PRPC (LB4)	170
34	DESVIOS PADRÃO OBTIDOS NOS PROCESSAMENTOS (LB4)	171
35	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	171
36	DIFERENÇAS CALCULADAS PARA OS PONTOS DE INTERSEÇÃO NA ÁREA A	188
37	DIFERENÇAS CALCULADAS PARA OS PONTOS DE INTERSEÇÃO NA ÁREA B	190
38	DIFERENÇAS CALCULADAS PARA OS PONTOS DE INTERSEÇÃO NA ÁREA C - PRIMEIRO ESTUDO	191
39	DIFERENÇAS CALCULADAS PARA OS PONTOS DE INTERSEÇÃO NA ÁREA C - SEGUNDO ESTUDO	192
40	DIFERENÇAS CALCULADAS PARA OS PONTOS DE INTERSEÇÃO NA ÁREA C - TERCEIRO ESTUDO	194
41	DIFERENÇAS CALCULADAS PARA OS PONTOS DE INTERSEÇÃO NA ÁREA C - QUARTO ESTUDO	195
42	COORDENADAS DO MARCO PGUA (WGS84)	197
43	PARÂMETROS TROPOSFÉRICOS ATUAIS PARA 26.08.96	198
44	PROCESSAMENTOS REALIZADOS PARA A OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DE PGUA (LB1)	199
45	COORDENADAS DE PGUA (LB1)	199

46	DIFERENÇAS ENTRE AS SOLUÇÕES OBTIDAS NOS PROCESSAMENTOS (LB1)	199
47	DESVIOS PADRÃO OBTIDOS NOS PROCESSAMENTOS (LB1)	200
48	COORDENADAS DE PGUA NO SISTEMA DA UFPR	201
49	TRAJETÓRIAS DESCRITAS PELA EMBARCAÇÃO GEO (DADOS CINEMÁTICOS)	202
50	SOLUÇÕES DA TRAJETÓRIA BC	205
51	SOLUÇÕES DA TRAJETÓRIA BL	215
52	DIFERENTES INVESTIGAÇÕES	226

LISTA DE GRÁFICOS

01	VISIBILIDADE DOS SATÉLITES E INFORMAÇÕES SOBRE AS PERDAS DE CICLOS E SOBRE O PDOP EM HELG	120
02	VISIBILIDADE DOS SATÉLITES E INFORMAÇÕES SOBRE AS PERDAS DE CICLOS E SOBRE O PDOP EM ASBM	121
03	ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES VISÍVEIS EM HELG	122
04	ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES VISÍVEIS EM ASBM	122
05	TRAJETÓRIA DESCRITA PELO WEGA EM 26.04.95 (HELG x ASBM)	123
06	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC3-BC1)	125
07	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC2-BC4)	125
08	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC3-BC4)	126
09	DIFERENÇAS EM ALTITUDE ENTRE AS SOLUÇÕES BC3 E BC4 E OS DESVIOS PADRÃO CALCULADOS PARA AS COORDENADAS Z PELO PROGRAMA GEONAP-K	127
10	DESVIO PADRÃO DAS POSIÇÕES CALCULADAS COM O GEONAP-K PARA AS SOLUÇÕES BC3 E BC4 E A DIFERENÇA TOTAL ENTRE AS DUAS SOLUÇÕES	128
11	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS R (BL3-BL1)	130
12	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS H (BL3-BL1)	131
13	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BL3-BL1)	131
14	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS R (BL4-BL3)	132
15	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS H (BL4-BL3)	133
16	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BL4-BL3)	133
17	DESVIO PADRÃO DAS POSIÇÕES CALCULADAS COM O GEONAP-K PARA AS SOLUÇÕES BL3 E BL4 E A DIFERENÇA TOTAL ENTRE AS DUAS SOLUÇÕES	134
18	DIFERENÇAS EM ALTITUDE ENTRE AS SOLUÇÕES BL3 E BL4 E OS DESVIOS PADRÃO CALCULADOS PARA AS COORDENADAS Z PELO PROGRAMA GEONAP-K	135
19	CONTEÚDO TOTAL DE ELÉTRONS NA ESTAÇÃO HELG	136
20	CONTEÚDO TOTAL DE ELÉTRONS NA ESTAÇÃO MSD8	136
21	CONTEÚDO TOTAL DE ELÉTRONS NA ESTAÇÃO ASBM	137
22	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS R (BC3-BL3)	138
23	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS H (BC3-BL3)	139
24	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC3-BL3)	139
25	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS R (BC3-BL4)	141
26	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS H (BC3-BL4)	142
27	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC3-BL4)	142
28	Δh EM FUNÇÃO DO TEMPO	143
29	Δh EM FUNÇÃO DO TEMPO	144
30	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS R (BC3-BL)	145
31	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS H (BC3-BL)	146
32	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC3-BL)	146
33	ΔR EM FUNÇÃO DO TEMPO	147
34	ΔH EM FUNÇÃO DO TEMPO	147
35	Δh EM FUNÇÃO DO TEMPO	148
36	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS R (BC3-BL)	149
37	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS H (BC3-BL)	149
38	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC3-BL)	150
39	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS R (BC3-BL)	151
40	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS H (BC3-BL)	152
41	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC3-BL)	152
42	ΔR EM FUNÇÃO DO TEMPO	153
43	ΔH EM FUNÇÃO DO TEMPO	153
44	Δh EM FUNÇÃO DO TEMPO	154

45	ΔR EM FUNÇÃO DO TEMPO	155
46	ΔH EM FUNÇÃO DO TEMPO	155
47	Δh EM FUNÇÃO DO TEMPO	156
48	VISIBILIDADE DOS SATÉLITES E INFORMAÇÕES SOBRE AS PERDAS DE CICLOS E SOBRE O PDOP EMBARCAÇÃO (GEO)	203
49	ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES VISÍVEIS NA EMBARCAÇÃO (GEO)	204
50	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC2-BC3)	206
51	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC2-BC4)	207
52	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS ϕ (BC2-BC5)	208
53	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS λ (BC2-BC5)	208
54	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC2-BC5)	209
55	DIFERENÇAS EM ALTITUDE ENTRE AS SOLUÇÕES BC2 E BC3 E OS DESVIOS PADRÃO CALCULADOS PARA AS COORDENADAS Z PELO PROGRAMA GEONAP-K	210
56	DESVIO PADRÃO DAS POSIÇÕES CALCULADAS COM O GEONAP-K, PARA AS SOLUÇÕES BC2 E BC3 E A DIFERENÇA TOTAL ENTRE AS DUAS SOLUÇÕES	211
57	DIFERENÇAS EM ALTITUDE ENTRE AS SOLUÇÕES BC2 E BC4 E OS DESVIOS PADRÃO CALCULADOS PARA AS COORDENADAS Z PELO PROGRAMA GEONAP-K	211
58	DESVIO PADRÃO DAS POSIÇÕES CALCULADAS COM O GEONAP-K, PARA AS SOLUÇÕES BC2 E BC4 E A DIFERENÇA TOTAL ENTRE AS DUAS SOLUÇÕES	212
59	DIFERENÇAS EM ALTITUDE ENTRE AS SOLUÇÕES BC2 E BC5 E OS DESVIOS PADRÃO CALCULADOS PARA AS COORDENADAS Z PELO PROGRAMA GEONAP-K	213
60	DESVIO PADRÃO DAS POSIÇÕES CALCULADAS COM O GEONAP-K, PARA AS SOLUÇÕES BC2 E BC5 E A DIFERENÇA TOTAL ENTRE AS DUAS SOLUÇÕES	214
61	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BL2-BL1)	216
62	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS ϕ (BL2-BL3)	216
63	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS λ (BL2-BL3)	217
64	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BL2-BL3)	217
65	DIFERENÇAS EM ALTITUDE ENTRE AS SOLUÇÕES BL2 E BL3 E OS DESVIOS PADRÃO CALCULADOS PARA AS COORDENADAS Z PELO PROGRAMA GEONAP-K	218
66	DESVIO PADRÃO DAS POSIÇÕES CALCULADAS COM O GEONAP-K, PARA AS SOLUÇÕES BL2 E BL3 E A DIFERENÇA TOTAL ENTRE AS DUAS SOLUÇÕES	219
67	DIFERENÇAS EM ALTITUDE ENTRE AS SOLUÇÕES BL2 E BL5 E OS DESVIOS PADRÃO CALCULADOS PARA AS COORDENADAS Z PELO PROGRAMA GEONAP-K	220
68	DESVIO PADRÃO DAS POSIÇÕES CALCULADAS COM O GEONAP-K, PARA AS SOLUÇÕES BL2 E BL5 E A DIFERENÇA TOTAL ENTRE AS DUAS SOLUÇÕES	220
69	CONTEÚDO TOTAL DE ELÉTRONS NA ESTAÇÃO PGUA	222
70	CONTEÚDO TOTAL DE ELÉTRONS NA ESTAÇÃO ECC3	222
71	CONTEÚDO TOTAL DE ELÉTRONS NA ESTAÇÃO ROVE	223
72	$\Delta \phi$ EM FUNÇÃO DO TEMPO (BC2-BL2)	224
73	$\Delta \lambda$ EM FUNÇÃO DO TEMPO (BC2-BL2)	224
74	Δh EM FUNÇÃO DO TEMPO (BC2-BL2)	225
75	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LATITUDES (BC2-BL1INV)	227
76	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LONGITUDES (BC2-BL1INV)	227
77	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS ALTITUDES (BC2-BL1INV)	228
78	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LATITUDES (BC2-BL2INV)	229
79	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LONGITUDES (BC2-BL2INV)	229
80	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS ALTITUDES (BC2-BL2INV)	230
81	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LATITUDES (BC2-BL3INV)	231
82	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LONGITUDES (BC2-BL3INV)	231
83	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS ALTITUDES (BC2-BL3INV)	232
84	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LATITUDES (BC2-BL4INV)	233

85	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LONGITUDES (BC2-BL4INV)	233
86	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS ALTITUDES (BC2-BL4INV)	234
87	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LATITUDES (BC2-BL5INV)	235
88	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LONGITUDES (BC2-BL5INV)	236
89	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS ALTITUDES (BC2-BL5INV)	236
90	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LATITUDES (BC2-BL6INV)	237
91	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LONGITUDES (BC2-BL6INV)	238
92	DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS ALTITUDES (BC2-BL6INV)	238

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AdV:	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland
AOC:	Auxiliary Output Chips
AS:	Anti-Spoofing
BfG:	Bundesanstalt für Gewässerkunde
BESCHICKUNG:	Ordenação das profundidades
BSH:	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
CEM:	Centro de Estudos do Mar
CIGNET:	Cooperative International GPS Network
CVRD:	Companhia Vale do Rio Doce
DGPS:	Differential GPS - Diferencial GPS
DHN:	Divisão de Hidrografia e Navegação
DOD:	US Department of Defense
DOP:	Dilution of Precision
ETRS89:	European Terrestrial Reference System
FOC:	Full Operation Capability
GEONAP:	GEOdetic NAVSTAR Positioningssoftware
GIBS:	GPS-Informationen-und Beobachtungssystem
GPS:	Global Positioning System
HYMAS:	Hydrographisches Meß-und AuswerteSystem
HPPS:	Hochpräziser Permanenter Positionierungs-Service
IBGE:	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICD:	Interface Control Document
IfE:	Institut für Erdmessung
IfGA:	Institut für Angewandte Geodäsie
IGS:	International GPS Geodynamics Service
INMARSAT:	International MARitime SATellite Communication Organisation
IOC:	Initial Operational Capability
ION:	Institute of Navigation
ITRF:	IERS (International Earth Rotation Service)
LEO's:	Low-Earth-Orbit Large Satellite Systems
NAVSTAR:	NAVigation System with Time and Ranging
NMEA:	National Maritime Electronics Association
NN:	Normal Null
OHI:	Organização Hidrográfica Internacional
OST:	Office of the Secretary (Department os Transportation)
OTF:	On the Fly
OTW:	On the Way
PDGPS:	Precise Differential GPS
PDOP:	Position DOP
PPS:	Precise Positioning Service
PRN:	Pseudo Random Noise
RBMC:	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RINEX:	Receiver INdependent EXchange Format
RTCM:	Radio Technical Committee for Marine Service
RTDGPS:	Real Time Differential GPS
RTK:	Real Time Kinematic
SA:	Selectiv Availability - Disponibilidade Seletiva
SKN:	Seekartennull
SPS:	Standard Positioning Service
SQUAT:	Deslocamento Vertical da Embarcação
SSR:	Satellite-to-Satellite Ranging
SST:	Sea Surface Topography
TEC:	Total Electron Content - Conteúdo Total de Elétrons

TRF:	Terrestrial Reference Frame
UERE:	User Equivalent Range Error - UERE
UTM:	Universal Transversal Mercator
WADGPS:	Wide Area DGPS
WEK:	Wasserstandseerechnungskarten
WGS-84:	World Geodetic System 1984

RESUMO

No âmbito marinho, muitas têm sido as técnicas utilizadas para o posicionamento de uma embarcação. Inicialmente, o homem recorreu à navegação astronômica ou a método expeditos. Com o avanço das ciências e da tecnologia, novos equipamentos e métodos foram sendo desenvolvidos, possibilitando melhorar a precisão para esses posicionamentos. Desde 1985, o sistema de navegação por satélites *GPS (Global Positioning System)* vem sendo utilizado nessa área e se tornou muito atraente, em função das suas propriedades predominantes: disponibilidade contínua, fácil aplicação e independência em relação às condições meteorológicas.

O presente trabalho verifica as soluções de alta precisão com a entrada do uso do GPS no ambiente marinho. Isso é realizado em duas áreas distintas: Mar do Norte (Alemanha) e Ponta do Poço (Brasil). Busca-se, também, desenvolver um estudo geodésico na área compreendida entre a Ponta de Embarque para a Ilha do Mel e a Ponta do Poço, obtendo informações que servirão de referência para todos os demais projetos a serem lá desenvolvidos.

Os dados coletados no levantamento do Mar do Norte, com a embarcação oceanográfica WEGA e os receptores *Ashtech Z-XII*, foram processados com o programa GEONAP. As diferenças entre as trajetórias obtidas, utilizando estações de referência situadas a aproximadamente 27 km e outra, a aproximadamente 200 km, foram inferiores a 7 cm para as coordenadas R; para as coordenadas H, inferiores a 18 cm e, inferiores a 20 cm, para as altitudes.

Na área da Ponta do Poço, utilizou-se a embarcação GEO, diferentes estações de referência e receptores *Ashtech Z-XII* para coleta de dados, visando analisar a solução precisa DGPS. Esses dados também foram processados com o programa GEONAP. Constatou-se uma precisão relativa satisfatória para a estação de referência situada próxima à embarcação (16km), porém, para a estação, distante aproximadamente 90km da embarcação e apresentando uma diferença de nível em torno de 920m, essa não foi satisfatória.

Realizou-se, para ambos os levantamentos, investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS nesses ambientes marinhos. Verificou-se, as consequências da introdução de certos parâmetros; a remoção de satélites; a resolução das ambigüidades utilizando a portadora L1; e outros. Essas análises são importantes para se alcançar a precisão almejada pelo PDGPS com segurança.

A utilização do GPS para a detecção das variações da linha de costa na área erosiva da Ponta do Poço é descrita neste trabalho. Pode-se verificar a sua praticabilidade, além da viabilidade em função da precisão relativa alcançada.

Mediante a conexão entre os sistemas GPS e ecobatimétrico, efetuou-se perfis batimétricos na área compreendida entre a Ponta de Embarque para a Ilha do Mel e a Ponta do Poço, obtendo-se resultados com precisões melhores às preconizadas pela Organização Internacional de Hidrografia.

ABSTRACT

Several techniques have been used for vessel positioning within marine environment. In the beginning, men took advantage of astronomical navigation or other expeditious methods. With science and technology progress, new methods and equipment were developed, making positioning precision improvement possible. Since 1985, GPS has been used in this area, for its predominant properties: continuous availability, easy application and independence in relation to the meteorological conditions.

This thesis checks highly accurate solutions with application of GPS in marine environment. The work was carried out in two different places: the Northern Sea (Europe) and in "Ponta do Poço" (Brazil). We also developed geodesic work in the area stretching from "Ilha do Mel" to "Ponta do Poço". The obtained information will serve as reference to other projects to be developed in this area.

The Northern Sea survey was carried out when sailing the WEGA oceanographic vessel and using *Ashtech Z-XII* receivers. After that the collected data were processed in the GEONAP software. Discrepancies between the two achieved courses were found when using two different reference stations (one at about 27 km and another one at about 200 km). The difference was less than 7 cm, 18 cm and 20 cm in the R, H and height components respectively.

The "Ponta do Poço" survey was carried out by sailing the GEO vessel and using different reference stations and *Ashtech Z-XII* receivers so as to collect data, in the accurate DGPS solution. These data were also processed in the GEONAP software. Relatively satisfactory accuracy for the reference station located close to the vessel (16 km) was observed. On the other hand, the station (90 km) which was farther than the first one showed a height difference next to 920 meters, which was not good enough.

Investigations about high GPS precision applications were made. The consequence of the introduction of some parameters, satellite removal, ambiguity resolution with L_1 and others was noticed. These analyses were very important for someone to obtain PDGPS precision.

In this thesis we also describe the use of GPS for the detection of coastline variation in the erosive area of "Ponta do Poço". This use proved to be practical and feasible due to the relative precision which can be obtained when using GPS.

Having found a connection between GPS and echosounder systems, bathymetric profiles were done in the area stretching from the headland for vessels to the "Ilha do Mel" and

"Ponta do Poço". Higher precision than the ones recommended by the International Hydrographic Organization were achieved.

1. INTRODUÇÃO

Desde o surgimento do Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* - GPS), usuários de diversas áreas têm a ele recorrido, principalmente em virtude da sua disponibilidade contínua, fácil aplicação e independência em relação às condições meteorológicas.

No âmbito marinho, muitas foram e têm sido as técnicas utilizadas para o posicionamento de uma embarcação. Inicialmente, o homem recorreu a métodos expeditos ou à navegação astronômica. Com o avanço das ciências e da tecnologia, novos equipamentos e métodos foram sendo desenvolvidos, possibilitando melhorar a precisão para estes posicionamentos.

Na visão clássica, os métodos de posicionamento marinho são: a radionavegação, as técnicas de radionavegação por satélites, técnicas inerciais, técnicas acústicas e técnicas integradas. Desde 1994, destacam-se três métodos: o GPS, as técnicas acústicas conectadas ao GPS, e o GPS integrado com a técnica inercial ou sensores complementares (SEEBER et al. 1994a).

Desde 1985, o GPS vem sendo utilizado no âmbito marinho. Inicialmente, a precisão alcançada no posicionamento cinemático absoluto para os receptores com o código P era de 10 a 15 m; porém, com a introdução dos efeitos *Selective Availability* - SA - e *Anti-Spoofing* - AS - (GPS NAVSTAR, 1995), a precisão passou a ser de 50 m a 100 m. Para a maioria das aplicações na geodésia marinha, essa precisão não é satisfatória. Visando melhorar a precisão, surgiu o GPS Diferencial (DGPS). Esse sistema consiste no posicionamento de uma estação móvel através das correções geradas na estação de referência. A precisão relativa alcançada está entre 10 m e 1 m, dependendo da observável utilizada. No caso de se utilizar a fase do código, obtém-se uma precisão relativa de 1 m a 10 m, e, com o código suavizado pela portadora, de 1 m a 3 m (SEEBER, 1993).

A nível internacional, no âmbito marinho, novos campos de aplicação para o GPS foram se descortinando, como por exemplo: mapeamento do fundo do mar; levantamentos hidrográficos precisos; acesso a portos; monitoramento de assoramentos e de erosão em rios, lagos, áreas portuárias, áreas costeiras; controle de dragagens; apoio para a engenharia costeira; controle de atitude em embarcações, bóias e plataformas flutuantes; controle contínuo e preciso das alturas, posicionamento de sensores abaixo d'água e monitoramento do nível dos

mares. Para essas aplicações, faz-se necessária uma precisão melhor que um metro. Ela, é alcançada com a utilização do DGPS Preciso (PDGPS). Esse sistema, apresenta o mesmo princípio que o DGPS, porém emprega as correções utilizando a fase da portadora. Ele, ainda apresenta problemas nas áreas a saber: transmissão dos dados, idade dos dados, distância entre estações e dificuldade na obtenção de solução das ambigüidades em tempo real. Visando solucionar tais problemas, estudos são realizados continuamente.

A nível internacional, também se observa o grande interesse nas aplicações em tempo real (RTPDGPS) (WÜBBENA et al. 1995) e na integração com outros ramos, que necessitam de coordenadas precisas, como é o caso do GIS.

Na Alemanha, muitos trabalhos de pesquisa têm sido realizados na área de posicionamento da embarcação no âmbito marinho, em tempo real e em pós-processamento de dados. O *Institut für Erdmessung* (Universidade de Hannover) é uma das instituições que têm realizado tais pesquisas e obtido excelentes resultados (SEEBER et al. 1994,a,1995,a; GOLDAN et al. 1994,1995).

No Brasil, verifica-se a existência de muitos usuários do GPS, porém, poucos trabalhos de pesquisa têm sido desenvolvidos nessa área. Algumas instituições públicas e privadas têm utilizado o sistema DGPS para posicionar a embarcação durante os levantamentos batimétricos, assim como para auxiliar na navegação. Dentre estas instituições pode-se citar a Diretoria de Hidrografia e Navegação -DHN - e a Companhia Vale do Rio Doce - CVRD. Em 1981, a DHN iniciou com a utilização dos satélites do sistema TRANSIT e no final da década de 80, passou a utilizar os satélites do sistema NAVSTAR-GPS. Atualmente vem empregando o GPS diferencial (DGPS) (FELIX, 1996).

Recentemente, a partir de um convênio estabelecido entre a DHN e a CVRD, alguns testes foram realizados para verificar a viabilidade da implantação de uma rede DGPS utilizando os radiofaróis marítimos (FELIX, 1996).

No presente trabalho, visa-se verificar as soluções GPS de alta precisão no ambiente marinho. Testes foram realizados em duas áreas distintas: Mar do Norte (Alemanha) e na Ponta do Poço (Brasil). Buscou-se, também, transferir conhecimentos adquiridos na Alemanha e adaptá-los para as condições brasileiras, desenvolvendo um levantamento geodésico na área compreendida entre a Ponta de Embarque para a Ilha do Mel e a Ponta do Poço.

Sendo o Brasil um país de grande extensão territorial e marítima, é de extrema importância um melhor domínio sobre suas áreas e conformações. Dessa forma, com o auxílio

do sistema GPS e com uma atuação multidisciplinar, espera-se estar fornecendo uma visão sistemática sobre a problemática ambiental e informações para o monitoramento ambiental em estudo, principalmente na área do Balneário de Pontal do Sul, município de Pontal do Paraná. Trata-se de um levantamento viável, pois aplica uma tecnologia de ponta em um setor importante de nosso meio ambiente, cujos componentes estão sendo continuamente alterados, consumidos ou reconstruídos pela própria atividade orgânica e por outros fenômenos de recirculação física e química e pela própria atividade humana.

Na seção 2, estão relatados os princípios básicos do Sistema de Posicionamento Global, englobando ainda os tipos de posicionamento, determinação das ambigüidades, erros inerentes ao GPS, receptores utilizados e programas GPS e hidrográficos aplicados no ambiente marinho. Este capítulo é pertinente, visto que este trabalho pode interessar aos leitores não ligados diretamente ao sistema GPS - NAVSTAR. Para os leitores desse trabalho pode-se indicar bibliografias especializadas em GPS, que fornecem informações mais detalhadas sobre esse sistema. Dentre os existentes pode-se citar: GEMAEL (1991), HOFMAN-WELLENHOF et al. (1994), LEICK (1996), SEEGER (1993) e WÜBBENA (1991).

Na seção 3, estão apresentados os sistemas GPS Diferencial, DGPS em tempo real (RTDGPS), bem como o DGPS Preciso e o PDGPS em tempo real (RTPDGPS), visando oferecer ao leitor e aos usuários uma revisão sobre esses sistemas. Eles, encontram-se mais detalhados, por exemplo, em: ANDREE (1995), HEIMBERG (1994), HEIMBERG et al. (1993), SEEGER (1993), SEEGER et al. (1994,a,1995), WELLS et al. (1992) e WÜBBENA et al. (1995).

Na seção 4, está apresentada a integração do GPS com a batimetria. Faz-se referência aos sistemas envolvidos e aos diversos fatores que influenciam a precisão da medida da profundidade. A bibliografia indicada para esse assunto é: BEHRENS et al. (1991,1993), BÖDER (1993), BÖDER et al. (1996), LEMMENS (1993), WIRTH et al. (1993,1995).

Os levantamentos efetuados no Mar do Norte; o processamento dos dados; as investigações realizadas, buscando obter a melhor solução PDGPS para as distintas estações de referência e a análise dessas soluções fazem parte da seção 5.

A seção 6 refere-se aos levantamentos efetuados na Ponta do Poço, Balneário de Pontal do Sul, município de Pontal do Paraná; ao processamento dos dados; as investigações da precisão, quando da introdução de certos parâmetros e à análise dos resultados obtidos para

as soluções PDGPS, utilizando distintas estações de referência. Também, é analisada a precisão alcançada com a integração do DGPS (para o posicionamento bidimensional da embarcação) e da batimetria (para a determinação da profundidade).

Na seção 7 apresenta-se as conclusões obtidas, bem como as recomendações a serem observadas em outros levantamentos que poderão ser efetuados no âmbito marinho, principalmente no Brasil.

2. PRINCÍPIOS BÁSICOS

2.1 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)

O *NAVSTAR - GPS (NAVigation System with Time And Ranging - Global Positioning System)* é um sistema de navegação através de sinais de rádio, baseado numa constelação de 24 satélites artificiais e administrado pela Força Aérea Americana. Foi desenvolvido, em princípio, só para atender aos interesses da força militar americana. Entretanto, pelo seu grande potencial, estendeu-se a setores não militares. Atualmente, é o sistema mais preciso na determinação da posição tridimensional, na navegação e em informações sobre o tempo (SEEBER, 1993).

A constelação GPS, composta de 21 satélites regulares e de 3 de reserva, originários do Bloco I (protótipos / 1978-1985) e Bloco II (operacionais / 1989-1990), foi declarada com capacidade de operação inicial em 08 de dezembro de 1993 (*IOC - Initial Operational Capability*). A capacidade de operação completa (*Full Operation Capability - FOC*) só foi alcançada em março de 1994, quando os 24 satélites passaram a orbitar sem problemas. Desde então, tornou-se possível observar simultaneamente pelo menos quatro satélites acima do horizonte, 24 horas por dia, em qualquer parte do mundo, independentemente das condições meteorológicas.

A partir de novembro de 1990, passou a orbitar o primeiro satélite do Bloco II-A (*Advanced*), bloco avançado, composto de 15 satélites. Esse Bloco, tornou-se operacional em março de 94. Seus satélites foram dispostos em 6 planos orbitais, com uma altura orbital média de 20.200 km e um período de 12 horas. A constelação atual (agosto de 1996) está indicada na tabela 01.

Completando a geração Bloco II, surge o Bloco II-R (*Replenishment*). Neste, os satélites possuirão relógios atômicos *Hydrogen-Maser*, mais precisos e estáveis que os relógios atômicos dos satélites antecessores, existindo a possibilidade de se determinar distâncias recíprocas como o *SSR - Satellite-to-Satellite Ranging*. É uma geração preparada para ter uma vida útil de 10 anos. No período entre 2001 e 2010, os satélites do Bloco II-F (*Follow on*) devem suceder os satélites do Bloco II-R.

TABELA 01 - CONSTELAÇÃO GPS (1996)
(Fonte: CANSPLACE, 07-10-1996)

<i>SEQUÊNCIA DE LANÇAMENTO</i>	<i>PRN</i>	<i>DATA DE LANÇAMENTO</i>	<i>POS. NO PLANO ORBITAL</i>	<i>SITUAÇÃO ATUAL</i>
BLOCO I				
01	04	22-02-78		INATIVO 17-07-85
02	07	13-05-78		INATIVO 16-07-81
03	06	06-10-78		INATIVO 18-05-92
04	08	10-12-78		INATIVO 14-10-89
05	05	09-02-80		INATIVO 28-11-83
06	09	26-04-80		INATIVO 06-03-91
07		FALHA NO LANÇAMENTO		
08	11	14-07-83		INATIVO 04-05-93
09	13	13-06-84		INATIVO 20-06-94
10	12	08-09-84		INATIVO 18-11-95
11	03	09-10-85		INATIVO 13-04-94
BLOCO II				
01	14	14-02-89	E-1	ATIVO
02	02	10-06-89	B-3	ATIVO
03	16	18-08-89	E-5	ATIVO
04	19	21-10-89	A-4	ATIVO
05	17	11-12-89	D-3	ATIVO
06	18	24-01-90	F-3	ATIVO
07	20	26-03-90		INATIVO 10-05-96
08	21	02-08-90	E-2	ATIVO
09	15	01-10-90	D-2	ATIVO
BLOCO IIA				
10	23	26-11-90	E-4	ATIVO
11	24	04-07-91	D-1	ATIVO
12	25	23-02-92	A-2	ATIVO
13	28	10-04-92	C-5	ATIVO
14	26	07-07-92	F-2	ATIVO
15	27	09-09-92	A-3	ATIVO
16	01	22-11-92	F-1	ATIVO
17	29	18-12-92	F-4	ATIVO
18	22	03-02-93	B-1	ATIVO
19	31	30-03-93	C-3	ATIVO
20	07	13-05-93	C-4	ATIVO
21	09	26-06-93	A-1	ATIVO
22	05	30-08-93	B-4	ATIVO
23	04	26-10-93	D-4	ATIVO
24	06	10-03-94	C-1	ATIVO
25	03	28-03-96	C-2	ATIVO
26	10	16-07-96	E-3	ATIVO
27	30	12-09-96	B-2	ATIVO

Embora o sistema seja operacional e esteja completo, os usuários foram afetados diretamente pela política de segurança americana, que limitou a precisão obtida pelos usuários não autorizados com a introdução da Disponibilidade Seletiva - *Selective Availability* -SA- e do *Anti Spoofing* - AS - sobre os satélites do Bloco II.

A Disponibilidade Seletiva consiste na degradação do sinal dos satélites, que é realizada através das técnicas Épsilon (ϵ) e Dither (δ). A primeira consiste na manipulação dos dados das efemérides (*Broadcast Ephemerides*), enquanto a segunda, na manipulação da frequência dos relógios dos satélites. Desde 15 de novembro de 1991, quando o SA foi reativado após a crise do Golfo, o usuário civil obtém, para um posicionamento absoluto, uma precisão horizontal de 100 m (nível de probabilidade de 95 %) e precisão vertical de 150 m. Esta precisão é insuficiente para os levantamentos marítimos, sendo melhorada através do Sistema GPS Diferencial (DGPS), com o qual se elimina uma grande parcela do efeito SA.

O *Anti-Spoofing* (AS) codifica o código Preciso (P) sobre as duas fases da portadora L_1 e L_2 em um código secreto denominado de código Y. Desde 31 de janeiro de 1994 essa técnica encontra-se ativada. A pseudodistância do código P sobre as portadoras L_1 e L_2 só pode ser determinada para os usuários autorizados dispondo de um receptor que tenha implementado o *Auxiliary Output Chips* - AOC.

Com o AS e SA ativados, o usuário do sistema GPS fica limitado, aos interesses da segurança nacional dos Estados Unidos. Dois serviços GPS distintos são fornecidos a comunidade: o serviço de posicionamento preciso (*Precise Positioning Service* - PPS) e o serviço de posicionamento padrão (*Standard Positioning Service* - SPS).

Segundo o *The GPS Standard Positioning Service - Signal Specification* (1995), o SPS fornece aos usuários a frequência L_1 , transmitida por todos os satélites, contendo o código de Aquisição (C/A) e a mensagem de navegação. O código Preciso (P) contido nas frequências L_1 e a L_2 não é parte do SPS. Qualquer modificação planejada nesse serviço em tempo de paz será noticiada com no mínimo 48 horas de antecedência pelo DOD para o Centro de Informação de Navegação da Guarda Costeira e para o sistema *FAA Notice to Airmen* - NOTAM. Essa modificação consiste em períodos nos quais o GPS não é habilitado para o SPS, definidos segundo as especificações.¹

O direito de uso do PPS é prioritário para o serviço militar dos Estados Unidos (USA). Havendo interesse nacional e resguardada a segurança, é concedido também aos usuários civis.

¹ Para maiores informações sobre o serviço SPS, ver *GPS NAVSTAR* (1995).

A precisão factível de ser obtida no posicionamento absoluto com a utilização dos códigos, em função das técnicas de segurança (AS e SA) e segundo o tipo do usuário, está indicada na tabela 02.

Atualmente, os receptores produzidos em consequência da técnica AS são capazes de reconstruir a onda portadora L_2 sem a necessidade do conhecimento do código P, garantindo, dessa forma, a determinação das coordenadas geodésicas do ponto com alta precisão. Modelos atuais de receptores, como, por exemplo, o *Ashtech Z XII*, o *Leica SR 399*, o *Trimble SSE / SSI* e o *Rogue*, permitem a medição da fase da portadora L_2 com comprimento de onda completo (ver 2.7). O modelo *Leica SR 299* efetua a determinação da fase da portadora L_2 com meio comprimento de onda.

TABELA 02 - PRECISÃO NO POSICIONAMENTO ABSOLUTO
(Fonte: SEEGER, 1995)

TÉCNICAS DE SEGURANÇA		USUÁRIOS SPS		USUÁRIOS PPS	
SA	AS	C/A	P	C/A	P
ATIVADO	ATIVADO	100 m	—	40 m	20 m
DESATIVADO	ATIVADO	40 m	—	40 m	20 m
ATIVADO	DESATIVADO	100 m	95 m	40 m	20 m
DESATIVADO	DESATIVADO	40 m	20 m	40 m	20 m

2.2 SINAIS UTILIZADOS

A principal tarefa dos satélites GPS consiste em enviar sinais com informações de navegação e identificação, os quais serão decodificados pelos receptores GPS. Essas informações são moduladas em duas frequências, baseadas numa frequência fundamental f_0 de 10,23 Mhz, produzida por relógios atômicos de Césio e Rubídio.

Os satélites emitem três tipos de sinais que são usados nas observações GPS: sinais dos códigos, sinais das portadoras e sinais de mensagem de navegação.

Na figura 01, observa-se a estrutura do sinal GPS e o comprimento de onda (λ) das observáveis (Códigos e Portadora L_1); na tabela 03, estão indicadas as suas principais características.

FIGURA 01 - ESTRUTURA DO SINAL GPS
(Fonte: ILLNER, 1995)

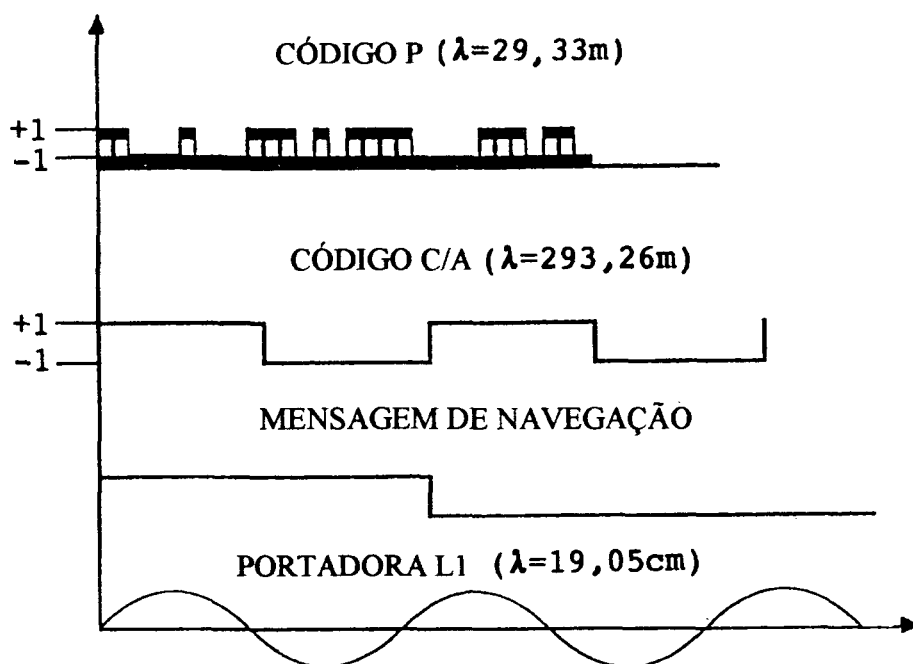


TABELA 03 - CARACTERÍSTICAS DOS SINAIS GPS

SINAL	PERÍODO DE REPETIÇÃO	FREQUÊNCIA	COMP. DE ONDA	NÍVEL DO RUÍDO		EFEITO DA PROPAGAÇÃO	AMBIGÜIDADE
				Receptores Clássicos	Novas Descobertas		
L₁	—	1.575,42 Mhz = 1,575 GHz	19,05 cm	1-3 mm	< 0,2 mm	Aceleração na Ionosfera	Ambiguo
L₂	—	1.227,60 Mhz = 1,228 GHz	24,45 cm	1-3 mm	<0,2 mm	Aceleração na Ionosfera	Ambiguo
Código P	266 dias \cong 6,9 10 ¹⁵ km para cada sat. 7 dias	10,23 Mhz	29,31 m	0,6-1 m	dm	Retardo na Ionosfera	Não-Ambiguo
Código C/A	1 ms \cong 300 km	1,023 Mhz	293,10 m	5-10 m	dm	Retardo na Ionosfera	Não-Ambiguo
Sinal de Navegação	30 s	50 Bit/s	—	—	—	—	—

Os códigos preciso (P) e de fácil acesso (CA) são modulados sobre a onda portadora, sendo o primeiro sobre L_1 e L_2 , e o segundo, apenas sobre L_1 . Como foi citado em 2.1, com a introdução da técnica AS, o código P é sobreposto pelo código W, originando o código Y, e o acesso só é permitido aos usuários autorizados. O emprego das duas ondas portadoras (L_1 e L_2) proporciona a eliminação de determinadas fontes de erros (p. ex. os efeitos atmosféricos).

Segundo o *Office of the Secretary - OST- (Department of Transportation)*², dos Estados Unidos, os satélites GPS do Bloco II-F poderão emitir um segundo sinal civil a fim de proporcionar um aumento da precisão e da confiabilidade para os usuários civis. Esse aumento da precisão será obtido pelo usuário quando da utilização das portadoras L_1 e L_5 , compensando os efeitos atmosféricos em ambos os sinais. Essa nova portadora apresentará, com base em análises iniciais, as seguintes características:

- frequência da portadora entre 1.125,3 Mhz e 1.207,14 Mhz, ou entre 1.248,03 Mhz e 1.329,9 Mhz, como múltiplo de f_0 ;
- modulação pelo código de fácil acesso e com uma frequência de dados de 50 bit/s; e
- frequência nominal de aproximadamente 1,023 Mhz.

Naturalmente, a precisão relativa obtida nos trabalhos geodésicos apresenta grande variação, dependendo do tipo de serviço GPS (SPS ou PPS) em que o usuário se encontra, do tipo de receptor empregado, do trabalho a ser desenvolvido e do programa empregado para calcular a sua posição. Outras informações quanto aos sinais GPS, a suas estruturas, características e cálculo das órbitas podem ser encontradas em literaturas correntes como SEEGER (1993), CRIOLLO (1993), HOFMANN-WELLENHOF et al.(1994), KRUEGER (1994), ILLNER (1995), e HECK (1995).

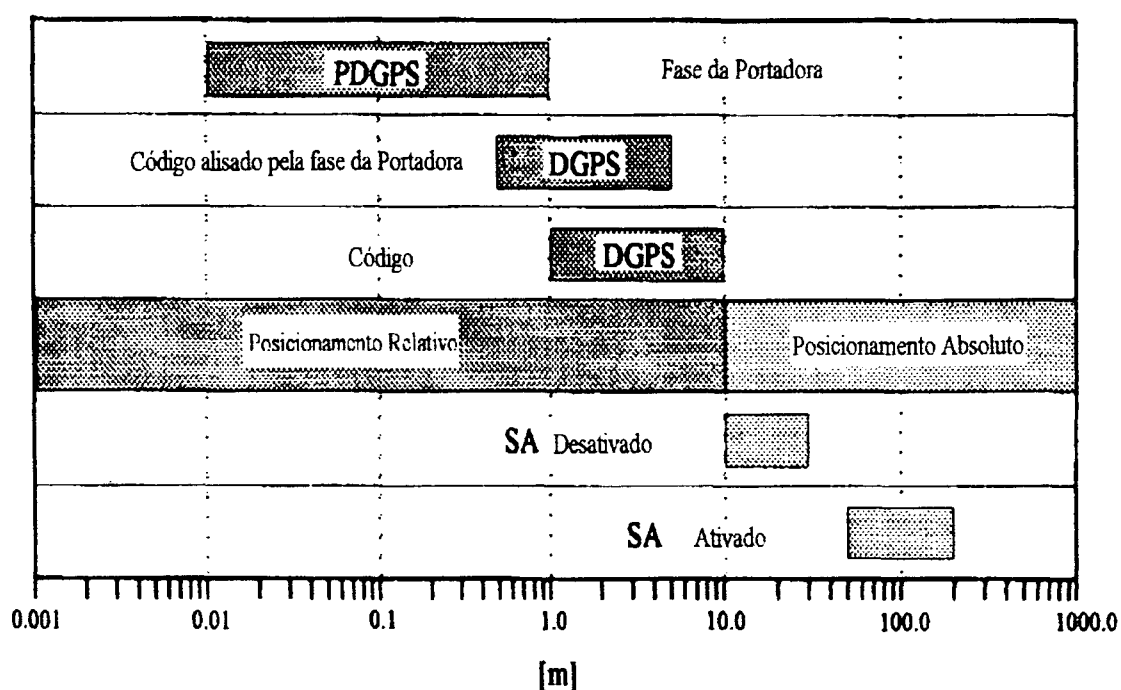
2.3 ESTRATÉGIAS DE OBSERVAÇÃO

As estratégias de observação com o GPS podem ser classificadas, inicialmente, em função do número de receptores envolvidos no levantamento. Um posicionamento absoluto conta apenas com um receptor GPS, enquanto um posicionamento relativo terá pelo menos dois receptores envolvidos. Também ter-se-ão diferentes tipos de posicionamento em função do tipo da observável empregada, conduzindo a diferentes níveis de precisão. É importante

² Informação obtida da owner-canspace@LISTSERV.UNB.CA wed Jun 12 08:42:34 1996 (A SECOND CIVIL SIGNAL ON GPS ...)

ressaltar, nos levantamentos cinemáticos, os seguintes tipos de posicionamento: absoluto com a fase do código, relativo com a fase do código³, relativo com o código suavizado pela portadora, e relativo com a fase da portadora. Na figura 02, observa-se a precisão que se pode alcançar em função da observável e da estratégia de exploração empregadas. Na medição dos códigos e dos códigos suavizados pela portadora utiliza-se o GPS Diferencial e, na medida da fase da portadora, o DGPS Preciso (PDGPS). Esses sistemas estão detalhados nas seções 3.1 e 3.2.

FIGURA 02 - PRECISÃO PARA O POSICIONAMENTO CINEMÁTICO COM O GPS
(Fonte: SEEBER et al., 1993)



2.3.1 POSICIONAMENTO ABSOLUTO

Esse tipo de posicionamento pode ser realizado de forma estática ou cinemática, e o resultado é uma navegação, independentemente de haver ou não movimento.

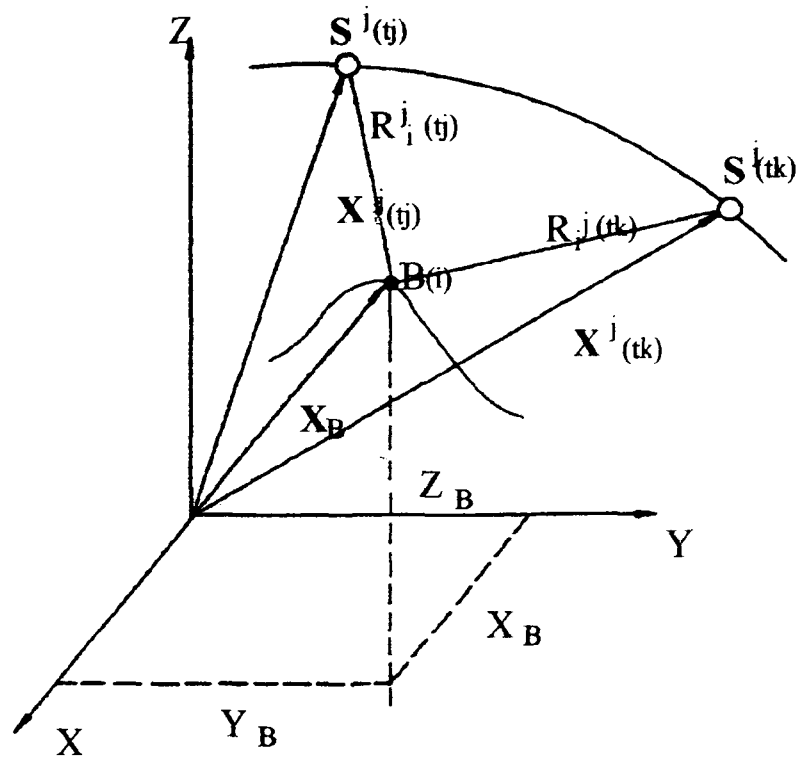
O princípio fundamental da navegação está baseado nas medidas das pseudodistâncias, que são aquelas compreendidas entre o usuário (antena) e entre, pelo menos, quatro satélites, cujas coordenadas são conhecidas em um sistema de referência global, como por exemplo o WGS84. A posição geométrica de um ponto, ou seja, as suas coordenadas tridimensionais,

³ Fase do código ou simplesmente o código.

pode ser obtida em tempo real. As grandezas resultam da multiplicação do tempo decorrido para o sinal deslocar de um satélite j até um receptor i pela velocidade da luz no vácuo. Devido ao não-sincronismo entre os relógios do receptor e do satélite, as medidas do tempo decorrido do sinal são falsas; e por isso, são denominadas de pseudodistâncias.

A apresentação geométrica para a determinação da posição de um ponto com o GPS pode ser observada na figura 03.

FIGURA 03 - APRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA PARA A DETERMINAÇÃO DA POSIÇÃO COM O GPS
(Fonte: SEEBER, 1993)



A equação fundamental de observação para uma pseudodistância é formulada por :

$$PR_i^j = |R_i^j| + c\delta t_i = c\tau_i^j \quad (2.1),$$

com

$$|R_i^j| = |X^j - X_B| = ((X^j - X_B)^2 + (Y^j - Y_B)^2 + (Z^j - Z_B)^2)^{1/2} \quad (2.2)$$

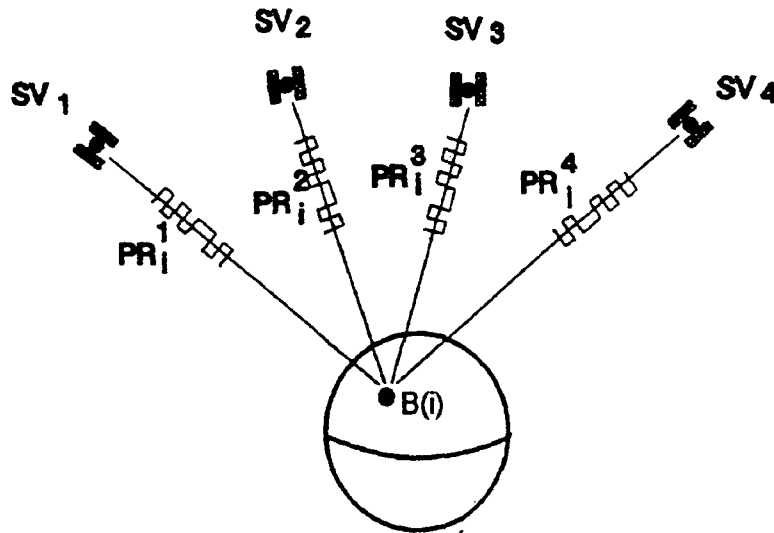
onde:

PR_i^j : pseudodistância (distância da antena do receptor i (em B) ao satélite j (S^j));

- R_i^j : distância geométrica ou raio vetor entre a antena do satélite j e a antena do receptor posicionada em B;
- X^j : vetor de posição do satélite (X^j, Y^j, Z^j);
- X_B : vetor de posição da antena do receptor i posicionada em B(X_B, Y_B, Z_B);
- c : velocidade de propagação da luz no vácuo;
- τ_i^j : tempo de propagação do sinal entre a antena do receptor (em B) e a antena do satélite j ;
- δt_i : erro de sincronismo do relógio do receptor i (situado em B); e
- t_j e t_k : épocas de observação.

As coordenadas da antena do receptor X_B podem ser obtidas a partir da observação simultânea de 4 satélites (ver figura 04).

FIGURA 04 - PRINCÍPIO DO POSICIONAMENTO POR PONTO COM AS PSEUDODISTÂNCIAS
(Fonte: SEEBER, 1993)



A equação completa de observação para uma época de observação genérica t é formulada por:

$$PR_i^j(t) = |R_i^j(t)| + c\delta t_i(t) + c\delta t^j(t) + c\delta T_i^j(t) + \epsilon_i^j \quad (2.3),$$

onde:

t : época de observação;

δt^j : erro de sincronismo do relógio do satélite j ;

δT_i^j : erro de propagação do sinal entre a antena do receptor i (ponto B) e a antena do satélite j (S_j) na atmosfera; e

ε_i^j : demais erros existentes (ruído do receptor, efeito multicaminho, variação do centro de fase da antena).⁴

Cada grupo de pseudodistâncias (no mínimo 4) entre o receptor e o satélite, a partir das informações aproximadas da posição do observador, assim como do erro de sincronismo do relógio do receptor, fornece uma atualização das coordenadas procuradas da antena. Tem-se uma série de equações de observação, em geral maior que o mínimo necessário para obter uma solução. Do conjunto das observações deriva uma solução para a posição do observador, a partir do ajustamento pelo método dos mínimos quadrados ao modelo linearizado pela fórmula de Taylor. Então:

$$\mathbf{L}_b = [PR_i^1, PR_i^2, PR_i^3, \dots, PR_i^n]^T \quad (2.4),$$

$$\mathbf{X}_a = [X_i, Y_i, Z_i, \delta t_i]^T \quad (2.5).$$

O sistema linearizado formado pela série de equações de observação é:

$$\mathbf{L}_b + \mathbf{V} = \mathbf{L}_o + \mathbf{A}\mathbf{X} \quad (2.6),$$

onde:

\mathbf{A} : matriz das derivadas parciais das pseudodistâncias com respeito às incógnitas.

O número de linhas é igual ao número de pseudodistâncias observadas e o

número de colunas é igual ao número de incógnitas; ($\mathbf{A} = \frac{\partial F}{\partial X_a} \big|_{x_0}$)

\mathbf{L}_b : vetor que contém as pseudodistâncias observadas;

\mathbf{L}_a : vetor que contém as pseudodistâncias observadas ajustadas ($\mathbf{L}_a = \mathbf{L}_b + \mathbf{V}$);

\mathbf{V} : vetor dos resíduos;

⁴ Ver seção 2.6.

- X** : vetor correção que permite a conversão de incógnitas aproximadas em ajustadas;
- X_a**: vetor dos parâmetros ajustados ($\mathbf{X}_a = \mathbf{X}_o + \mathbf{X}$);
- X_o**: vetor cujas componentes são os valores aproximados dos parâmetros;
- L_o**: vetor que contém as pseudodistâncias aproximadas, é função dos parâmetros aproximados ($\mathbf{L}_o = \mathbf{F}(\mathbf{X}_o)$);
- L**: é o vetor obtido por ($\mathbf{L}_b - \mathbf{L}_o$);
- P**: matriz dos pesos;

Uma única solução desse sistema é obtida com a aplicação do princípio dos mínimos quadrados:

$$\mathbf{X} = -(\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{L} = -\mathbf{N}^{-1} \mathbf{U} \quad (2.7),$$

com

$$\mathbf{N} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} \quad \text{e} \quad \mathbf{U} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{L}.$$

Para maiores detalhes quanto ao ajustamento, consultar GEMAEL (1994) e HOFMANN-WELLENHOF et al. (1994)

A equação (2.3) pode derivar de medidas do código e ou da fase da portadora, nesse último é acrescida do termo das ambigüidades.⁵ A principal diferença consiste na precisão que se deseja obter (tabela 02), na resolução das ambigüidades (seção 2.5) e no tipo de serviço em que está situado o usuário. A solução obtida pela medida do código é menos precisa do que a obtida pela medida da fase da portadora (da ordem de 10^3).

Conforme o item 2.1 e a figura 02, para um posicionamento absoluto com a medida do código, obtém-se uma precisão, em tempo real, de 10 m (sem SA) e até 150 m (com SA). Um usuário, de posse de um receptor com dupla frequência e do código P (sem SA), poderá reduzir o erro devido ao efeito ionosférico. Quando o AS está ativado, técnicas particulares são empregadas para se alcançar as observáveis completas (ver seção 2.6). Pode-se melhorar a precisão no posicionamento absoluto com um maior tempo de observação.

⁵ Ambigüidade (N) : é uma incógnita correspondente ao número de ciclos inteiros, formado entre o instante de transmissão e da recepção do sinal.

TABELA 04 - ERROS PARA O POSICIONAMENTO ABSOLUTO
(Fonte: ROMÃO, 1995)

<i>CAUSA</i>	<i>CÓDIGO</i>
Órbita dos Satélites	com SA: 10 - 100 m
	sem SA: 2 - 10 m
Relógio dos Satélites	com SA: 10 - 100 m
	sem SA: 1 - 10 m
Ionosfera	Uma frequência: 2 - 100 m
	Duas frequências: 0 - 10 cm
Troposfera	Modelo : 10 cm - 1 m
Multicaminho	dm - m
Centro de Fase	mm - cm
Ruído	Código P: 0,3 - 1,0 m
	Código C/A: 1 - 32 m

2.3.2 POSICIONAMENTO RELATIVO

Observa-se, na tabela 02, que a precisão alcançada com o posicionamento absoluto não é satisfatória para os levantamentos geodésicos, mesmo antes da introdução das técnicas SA e AS. Para a navegação, antes da introdução do SA, a precisão alcançada com o posicionamento absoluto com o código P (10-15 m) era satisfatória. Hoje, a precisão alcançada, em tempo real, com o código C/A é de 100 a 150 m, sendo ela, satisfatória para as navegações em áreas oceânicas. Nos casos de pesquisa marinha e levantamentos de precisão (p.ex. monitoramento de plataformas, detecção de áreas sujeitas a erosão, determinação do nível médio dos mares), ela não é satisfatória, sendo necessário recorrer ao posicionamento relativo para qualquer uma das aplicações.

O posicionamento relativo caracteriza-se pela observação simultânea dos sinais dos satélites em pelo menos duas estações distintas, o que contribui para uma significativa redução de erros, especialmente do erro do relógio do satélite, das efemérides e da propagação do sinal na atmosfera. Ele pode ser efetuado utilizando-se diferentes tipos de observação, como o da fase do código, da fase do código suavizada pela portadora e da fase da portadora.

Neste tipo de posicionamento, diferentes técnicas são empregadas para a modelagem da medida da fase da portadora: observações não-diferenciadas, simples diferença de fase, dupla diferença de fase e a tripla diferença de fase. Elas conduzem a dois conceitos de

exploração distintos: estimação e eliminação dos parâmetros. Na estimação, trabalha-se com observações originais ou não-diferenciadas. As coordenadas da estação bem como todos os erros não conhecidos são explicitados nas equações de observação e estimados no ajustamento. Têm a vantagem de apresentar uma formulação geral, implicando, porém, um sistema de equações complexo e com muitas incógnitas. Na eliminação, há diferenças para diversas combinações e, assim, os erros são reduzidos ou eliminados. Apresenta a vantagem de conduzir a um sistema simplificado de equações no qual várias grandezas estarão suprimidas. Nesse caso, são necessárias observações simultâneas.⁶ O programa *GEONAP* (ver seção 2.8.1) emprega a estimação dos parâmetros no pós-processamento de dados.

Aplicando-se a equação (2.3) para um posicionamento relativo e utilizando-se a observação da fase do código, obtém-se a equação (2.8), que representa a diferença da pseudodistância para uma observação simultânea de um satélite j a partir de duas estações i e k em uma época t .

$$\Delta PR_{i,k}^j(t) = \Delta |R^j(t)|_{i,k} + c\Delta\delta t_{i,k}(t) + c\Delta\delta T_{i,k}^j(t) + \Delta\epsilon_{i,k}^j \quad (2.8),$$

com

$$\Delta |R^j(t)|_{i,k} = |R_k^j(t)| - |R_i^j(t)| \quad (2.9),$$

onde:

$\Delta PR_{i,k}^j$: diferença entre as pseudodistâncias calculadas a partir de observações simultâneas das estações i e k do satélite j .

Dessa forma, as coordenadas tridimensionais relativas bem como o estado do relógio do receptor com relação ao tempo GPS ficam determinados. A obtenção dessas coordenadas em tempo real requer a utilização de um sistema para a transferência de dados de uma estação de referência para um usuário desse sistema, o qual é denominado de GPS Diferencial e que está detalhado na seção 3.1.

O posicionamento relativo, utilizando-se apenas a fase dos códigos, não fornece a precisão desejada para uma grande parte das aplicações do sistema GPS, principalmente nas geodésicas. Assim, é necessário recorrer ao sistema relativo utilizando-se outras observáveis (fase da portadora). Através da fase do código suavizada pela portadora, minimiza-se o ruído dos códigos, conforme seção 2.2, tabela 03. Essa é uma técnica de exploração das observáveis

⁶ Para maiores detalhes ver SEEGER (1989,1993), e WÜBBENA (1991)

e não um novo conceito. O algoritmo para essa técnica, proposto por HATCH (1982) e mais tarde por LACHAPELLE (1986), é expresso pela equação (2.10):

$$PR\phi(t) = \omega_{PR}(t) PR_r(t) + \omega\phi(t) (PR\phi(t-1) + (\phi(t) - \phi(t-1))) \quad (2.10),$$

onde:

$$\omega\phi(t) = 1 - \omega_{PR}(t) \quad (2.11),$$

- $PR_r(t)$: observações brutas das pseudodistâncias em t ;
- $PR\phi(t)$: pseudodistâncias suavizadas pela portadora em t ;
- $PR\phi(t-1)$: pseudodistâncias suavizadas pela portadora em $(t-1)$;
- $\phi(t)$: medida da fase da portadora em t ;
- $\phi(t-1)$: medida da fase da portadora em $(t-1)$;
- $\omega_{PR}(t)$: peso da pseudodistância bruta em t ; e
- $\omega\phi(t)$: peso de $(PR\phi(t-1) + (\phi(t) - \phi(t-1)))$.

Com essa técnica, na prática, as ambigüidades da fase da portadora são determinadas (ver seção 2.5) após algum tempo de observação, assim permanecendo até que ocorra *Cycle-Slips*.⁷ Porém, quando isso ocorre deve-se reinicializar o algoritmo (SEEBER, 1993). O uso do filtro aumenta progressivamente o peso da medida da fase da portadora ϕ . Segundo LACHAPELLE (1986), os respectivos pesos atribuídos para a medida da pseudodistância e da fase da portadora são funções do tempo decorrido desde o início das observações da fase ou desde o último *Cycle-Slip* ocorrido. Esse tipo de filtro é bem condizente com as aplicações em tempo real e possibilita uma precisão de 0,5 a 3 m, de acordo com a distância da estação de referência. Tal precisão é de grande potencial para as aplicações no âmbito marinho.⁸

Utilizando-se a fase da portadora no posicionamento relativo, obtém-se um aumento da precisão, o que é de extrema valia para as aplicações geodésicas (SEEBER, 1993). A figura 05, ilustra o princípio desse posicionamento utilizando a fase da portadora.

⁷ É a descontinuidade nas observações da fase da portadora, em geral um número inteiro de ciclos, causada pela perda temporária do sinal. (LANGLEY, 1995)

⁸ Para maiores detalhes, consultar LACHAPELLE (1986) e WANNINGER (1994).

A medida da fase da portadora resulta da comparação do sinal da portadora recebido (f_{CR}) com o sinal gerado pelo receptor (f_0). Em um receptor i (situado em B) a verdadeira grandeza de observação é a diferença de fase, expressa pela equação:

$$\phi_i(t) = \phi_{CR}(t) - \phi_0(t) \quad (2.12).$$

A equação de observação fundamental da fase da portadora numa estação i (B) para um satélite j (ver figura 05) é indicada pela (2.13). Nessa equação, despreza-se a propagação do sinal na atmosfera e o erro de sincronismo do relógio desse satélite j .

$$\phi_i^j = 2\pi/\lambda (|\mathbf{X}^j - \mathbf{X}_i| - \lambda N_i^j + c\delta t_i + \varepsilon_i^j) \quad (2.13),$$

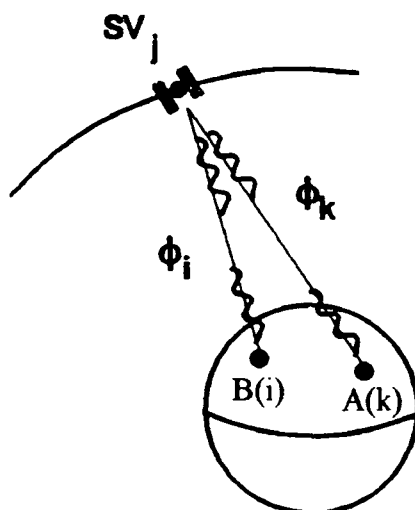
onde:

ϕ_i^j : diferença de fase medida da estação i ao satélite j ;

N_i^j : ambigüidades (em ciclos) da medida da fase da portadora (constante, se não houver *cycle-slip*);

λ : comprimento da onda portadora.

FIGURA 05 - ILUSTRAÇÃO PARA A MEDIDA DA FASE DA PORTADORA
(Fonte: SEEBER, 1993)



Através da multiplicação com o comprimento de onda pode-se representar a fase relativa em pseudodistância para a fase da portadora. A equação completa de observação, correspondente a equação (2.3), é expressa por:

$$PR_i^j(t) = |\mathbf{R}_i^j(t)| + c\delta t_i(t) + c\delta t^j(t) + c\delta T_i^j(t) + \lambda N_i^j(t) + \varepsilon_i^j \quad (2.14).$$

Verifica-se que a equação (2.14) é acrescida do termo das ambigüidades $\lambda N_i^j(t)$ quando comparada a equação de observação de pseudodistância para os códigos.

A equação de observação para a diferença de pseudodistâncias, com observações simultâneas da fase da portadora realizadas em duas estações i e k para um satélite j , é representada por:

$$\Delta PR_{i,k}^j(t) = \Delta |\mathbf{R}^j(t)|_{i,k} + c\Delta\delta t_{i,k}(t) + c\Delta\delta T_{i,k}^j(t) + \lambda\Delta N_{i,k}^j(t) + \Delta\varepsilon_{i,k}^j \quad (2.15).$$

As equações (2.8) e (2.15) diferem entre si apenas no que diz respeito ao termo da ambigüidade. Sem perda de sinal, ela permanece constante por todo o período do levantamento; porém, quando há perda do sinal, principal problema nos levantamentos cinemáticos, torna-se uma nova incógnita, havendo necessidade de reinicialização. Nos levantamentos em que é difícil deslocamentos sem perda de sinal, emprega-se técnicas de inicialização estática independentes com capacidade de recuperar os sinais, resolvendo-se assim, as ambigüidades durante o movimento através de um algoritmo próprio, como, por exemplo, *On the Way* (SEEBER and WÜBBENA, 1989). Estas técnicas serão abordadas com mais detalhes na seção 2.5.

As técnicas e as estratégias utilizadas para a determinação das ambigüidades da fase da portadora tem sido muito pesquisadas. A fim de estimar as ambigüidades inteiras iniciais, vários procedimentos para a inicialização rápida foram desenvolvidos: intercâmbio de antenas, ocupação de uma base conhecida ou determinação de uma linha de base com levantamento estático (SEEBER, 1993; CRIOLLO, 1993).

Atualmente, com receptores GPS é suficiente determinar as ambigüidades uma vez, desde que não haja nenhuma perturbação no seu sinal. Quando as ambigüidades estão completamente determinadas, o usuário pode obter uma medição das pseudodistâncias com um ruído ao nível milimétrico e uma posição subcentimétrica.

Na tabela 05, estão indicados os erros obtidos quando da realização de uma simples diferença de fase utilizando os códigos e as portadoras (WÜBBENA, 1993; WANNINGER, 1994). Para um levantamento simultâneo, o erro do relógio do satélite é praticamente

eliminado. Nesse posicionamento, utilizando-se a fase da portadora alguns erros são minimizados como por exemplo o nível do ruído e o efeito multicaminho.

TABELA 05 - ERROS PARA A SIMPLES DIFERENÇA DE FASE
(Fonte: WANNINGER, 1994)

<i>CAUSA</i>	<i>CÓDIGO</i>	<i>FASE DA PORTADORA</i> <i>com ambigüidades resolvidas</i>
Órbita dos Satélites	com SA: 0,5 - 5 ppm sem SA: 0,1 - 0,5 ppm	com SA: 0,5 - 5 ppm sem SA: 0,1 - 0,5 ppm
Relógio dos Satélites	Praticamente Nenhum (devido ao sincronismo dos receptores)	
Ionosfera	Uma freqüência: 0,1 - 50 ppm Duas freqüências: 0,0 - 0,2 ppm	Uma freqüência: 0,1 - 50 ppm Duas freqüências: 0,0 - 0,2 ppm
Troposfera	Modelo : mm - cm	Modelo : mm - cm
Multicaminho	>m	>cm
Centro de Fase	mm	mm
Ruído	Código P: 0,14 - 1,4 m Código C/A: 0,4 - 4,2 m	0,5 - 5 mm

Citou-se, anteriormente, que, para um sistema de eliminação dos parâmetros, há o emprego de diferentes técnicas para a modelagem da medida da fase da portadora, como a simples diferença de fase (SDF), a dupla diferença de fase (DDF) e a tripla diferença de fase (TDF), o que conduz a uma eliminação ou minimização dos erros existentes. Na figura 06, pode-se observar a representação da tripla diferença de fase (TDF) entre os receptores e os satélites.

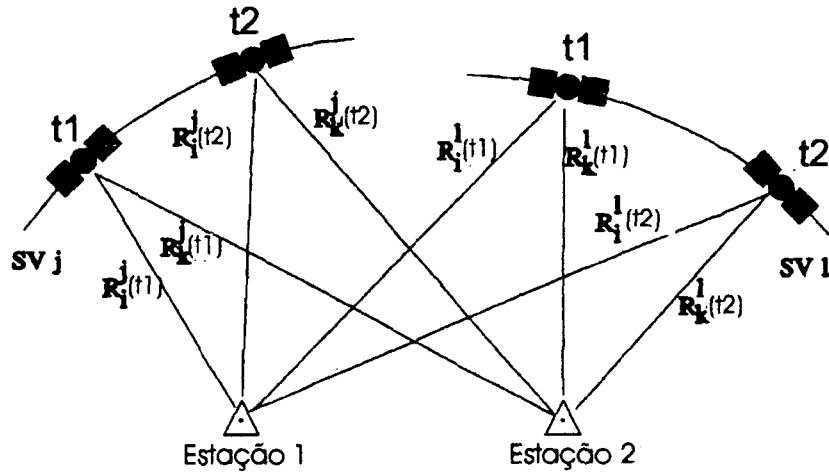
Segundo WELLS (1987), empregam-se os seguintes operadores a fim de representar as diferenças:

∇ :diferença entre os satélites;

Δ :diferença entre receptores;

δ :diferença entre épocas.

FIGURA 06 - TRIPLA DIFERENÇA DE FASE - TDF
(Fonte: SEEGER, 1993)



A (2.14) representa a equação de observação da pseudodistância para a observação da fase da portadora de uma estação i para um satélite j , e a (2.16), da estação k para o mesmo satélite:

$$PR_k^j(t) = |R_k^j(t)| + c\delta t_k(t) + c\delta t^j(t) + c\delta T_k^j(t) + \lambda N_k^j(t) + \epsilon_k^j(t) \quad (2.16).$$

A simples diferença de fase (SDF) consiste na diferença entre as fases da portadora geradas por duas estações i e k para um satélite j num instante de tempo t . A diferença entre as equações (2.14) e (2.16) resulta na equação de observação para a SDF:

$$\Delta PR_{i,k}^j(t) = \Delta |R^j(t)|_{i,k} + c\Delta\delta t_{i,k}(t) + c\Delta\delta T_{i,k}^j(t) + \lambda\Delta N_{i,k}^j(t) + \Delta\epsilon_{i,k}^j(t) \quad (2.17).$$

Na equação (2.17), as incógnitas são as coordenadas tridimensionais de uma das estações, a combinação do erro do relógio das estações i e k por época de observação, e a diferença $N_{i,k}$ de ciclos inteiros para cada satélite observado. Admitida a simultaneidade das observações elimina-se o estado do relógio do satélite. Para bases curtas (<10 km) e em condições ionosféricas e troposféricas normais, haverá, nas duas estações, praticamente os mesmos efeitos atmosféricos, simplificando ainda mais a equação (2.17). Os efeitos ionosféricos são mais acentuados nas regiões equatoriais e polares e em épocas de grande atividade solar. Durante os próximos quatro anos podem ser esperados pequenos efeitos

ionosféricos no posicionamento com o GPS e até o final dessa década, ter-se-á uma nova elevação da atividade solar. (WANNINGER, 1994).

Efetuar uma dupla diferença de fase (DDF) significa obter a diferença entre as fases da portadora geradas por duas estações i e k , para dois satélites j e l , obtidas num mesmo instante t . Realizando-se a diferença entre a equação (2.17) e outra similar desenvolvida para o satélite l , obtém-se a equação de observação para a DDF:

$$\nabla\Delta PR_{i,k}^{j,l}(t) = \nabla\Delta |R(t)|_{i,k}^{j,l} + c\nabla\Delta\delta T_{i,k}^{j,l}(t) + \lambda\nabla\Delta N_{i,k}^{j,l}(t) + \nabla\Delta\epsilon_{i,k}^{j,l}(t) \quad (2.18).$$

Com essa técnica, elimina-se também a incógnita do relógio do receptor, admitida a simultaneidade das observações. Verifica-se que as incógnitas são as coordenadas tridimensionais de uma das estações, e $(n-1)$ ciclos inteiros $N_{i,k}$, onde n é o número de satélites observados simultaneamente.

A tripla diferença de fase (TDF) consiste, por sua vez, em realizar observações simultâneas de duas estações i e k para dois satélites j e l , em duas épocas distintas t_1 e t_2 (ver figura 06). Desenvolvendo-se uma equação similar à equação (2.18) para os instantes de tempo t_1 e t_2 e realizando-se a diferença entre as equações de DDF, obtém-se:

$$\delta\nabla\Delta PR_{i,k}^{j,l}(t_1,t_2) = \delta\nabla\Delta |R(t_1,t_2)|_{i,k}^{j,l} + c\delta\nabla\Delta\delta T_{i,k}^{j,l}(t_1,t_2) + \delta\nabla\Delta\epsilon_{i,k}^{j,l}(t_1,t_2) \quad (2.19).$$

A expressão (2.19) representa a equação de observação da TDF. Verifica-se que ela permite a eliminação da incógnita $N_{i,k}^{j,l}$, além das já citadas anteriormente, desde que admitida a continuidade das observações nos dois satélites e que não haja perda de sinal. Com essa técnica estima-se o valor real sem estimar as ambigüidades (solução flutuante). A TDF é utilizada na busca de perdas de sinais.⁹

É possível obter-se uma precisão submétrica da posição utilizando-se a medida da fase da portadora no sistema PDGPS (DGPS Preciso) (ver figura 02). Esse sistema traz uma grande contribuição para os levantamentos relativos cinemáticos e tem sido testado em tempo real (RTPDGPS) nos levantamentos hidrográficos, com sucesso, pelo *Institut für Erdmessung*. Esse assunto será tratado com mais detalhes na seção 3.2.

⁹ Para maiores detalhes, consultar SEEGER (1993), CRIOLLO (1993), HEIMBERG (1994) e VOGEL (1995).

2.4 COMBINAÇÃO LINEAR ENTRE AS FASES DA PORTADORA

Na seção 2.2, verificou-se que o sistema GPS pode fornecer aos usuários duas portadoras L_1 e L_2 . O sentido original do levantamento com esses dois sinais consiste na eliminação do tempo de retardo do sinal na ionosfera. Um outro aspecto que requer uma combinação linear entre as portadoras trata-se da determinação das ambigüidades para a posterior obtenção das coordenadas. É possível realizar um grande número de combinações e a escolha entre as possíveis é feita a partir da avaliação mediante quatro critérios distintos (seg. BEUTLER et al. 1989, WÜBBENA 1991):

- o coeficiente da combinação linear deve ser inteiro, possibilitando, dessa forma, a fixação da ambigüidade resultante num número inteiro;
- um comprimento razoável da onda do sinal, visto que isso facilita a eliminação das perdas de sinal e simplifica a fixação das ambigüidades;
- pouca influência da ionosfera sobre a combinação linear; e
- pequeno ruído das medidas, pois esse deve ser menor que o comprimento de onda dos sinais.

Segundo WÜBBENA (1991), a combinação linear das portadoras L_1 e L_2 , com a ajuda de coeficientes inteiros n e m , é representada por:

$$\phi_{n,m} = n \phi_1 + m \phi_2 \quad (2.20),$$

onde:

$\phi_{n,m}$: combinação linear da fase da portadora;

ϕ_1 : fase medida da portadora L_1 ; e

ϕ_2 : fase medida da portadora L_2 .

A ambigüidade dessa combinação linear $N_{n,m}$ resulta em:

$$N_{n,m} = n N_1 + m N_2 \quad (2.21),$$

onde:

N_1 : ambigüidade da fase medida da portadora L_1 ; e

N_2 : ambigüidade da fase medida da portadora L_2 .

O comprimento de onda $\lambda_{n,m}$ é calculado mediante o emprego da velocidade da luz no vácuo e das frequências f_1 e f_2 , respectivamente para os sinais L_1 e L_2 :

$$\lambda_{n,m} = c / (n f_1 + m f_2) \quad (2.22).$$

A influência da ionosfera é descrita através de um fator de ampliação ionosférico V_1 , representado pela equação (2.23):

$$V_{1,n,m} = (n f_2 + m f_1) / (n f_1 + m f_2) \quad (2.23).$$

O desvio padrão da medida do ruído da fase medida é calculado a partir da lei de propagação dos erros e é expresso por:

$$\sigma_{\phi, n,m} = (n^2 + m^2)^{1/2} \cdot \sigma_{\phi} \quad (2.24),$$

onde:

$\sigma_{\phi, n,m}$: desvio padrão da combinação resultante,

σ_{ϕ} : desvio padrão da fase original observada.

Segundo o *Interface Control Document* (ICD-GPS-200)¹⁰, a variância dos ruídos da fase da portadora, na qual eles são não correlacionados, é da ordem de 0,1 rad (1σ) para as observações originais. O desvio padrão para uma pseudodistância calculada para a fase da portadora é dado por:

$$\sigma_{n,m} = \lambda_{n,m} \cdot \sigma_{\phi, n,m} \quad (2.25),$$

onde:

$$\sigma_{\phi, n,m} = (n^2 + m^2)^{1/2} \cdot (0,1 / 2\pi).$$

A tabela 06 contém algumas combinações lineares convenientes da fase das portadoras.¹¹ A coluna 1 da respectiva tabela refere-se à combinação linear, e as colunas 2 e 3, aos coeficientes lineares. A coluna 4 apresenta o comprimento de onda efetivo (λ), calculado

¹⁰ Segundo ROCKWELL (1984), citado por HEIMBERG (1994).

¹¹ Para maiores detalhes consultar WÜBBENA (1991).

pela equação (2.22), e a coluna 5, o comprimento de onda (λ_{ν}) para o receptor que efetua observações na técnica de quadratura (técnica *Squaring*) da fase da portadora L_2 . A coluna 6 contém o fator de ampliação ionosférico V_1 , que mede a influência da ionosfera sobre a fase da portadora, como foi definido pela equação (2.23). A coluna 7 contém a medida do ruído para a combinação linear escolhida.

As combinações lineares são sempre efetuadas a partir das observações originais das portadoras L_1 e L_2 . Através da soma e/ou da subtração entre essas portadoras, ou mediante seus múltiplos, têm-se as combinações lineares com os seus significados particulares, que podem ser observadas na tabela 06. Através da diferença entre as portadoras L_1 e L_2 , obtém-se a *Wide Lane* (L_W), com um comprimento de onda de 86,2 cm, cuja vantagem é a possibilidade de determinar as ambigüidades com um comprimento de onda 4 vezes maior que o das observações originais, mesmo sujeita aos efeitos ionosféricos. A desvantagem consiste na elevação do nível do ruído em cerca de 6 vezes, quando comparada com o da portadora L_1 . Recomenda-se a utilização dessa combinação para bases longas (acima de 30 km). A *Narrow Lane* (L_N), com um comprimento de onda de 10,7 cm, é obtida pela soma das portadoras originais; ela apresenta o nível de ruído mais baixo de todas as combinações; mas as ambigüidades são de difícil solução. Esta combinação é utilizada para a solução das coordenadas em bases curtas. A magnitude dos efeitos ionosféricos é igual para a L_W e L_N , porém com os sinais contrários. As combinações lineares L_{43} , L_{54} , e L_{97} sofrem pouca influência dos efeitos ionosféricos, porém possuem a desvantagem de apresentarem um curto comprimento de onda, dificultando a resolução das ambigüidades. As referidas combinações podem ser utilizadas diretamente no cálculo das coordenadas. A combinação linear livre dos efeitos ionosféricos é a L_0 ; ela refere-se à média aritmética dos sinais L_W e L_N , não fornece as ambigüidades inteiras e não é um sinal adequado para soluções muito precisas.

A observável L_1 , obtida a partir da diferença entre os sinais L_N e L_W , contém o efeito ionosférico completo. Ela permite uma análise detalhada do comportamento da ionosfera e é útil na resolução das ambigüidades apresentando um significado especial na técnica *Extrawidelaning*, descrita na seção 2.5. A combinação linear L_{12} é idêntica à combinação linear *Wide Lane* e é empregada para as observações originais da fase para os receptores que utilizam a técnica de quadratura.

TABELA 06 - COMBINAÇÃO LINEAR DA FASE DAS PORTADORAS
(Fonte: WÜBBENA, 1991)

SINAL	n	m	λ (cm)	λ_n (cm)	V_I	σ (mm)
L ₁	1	0	19,0	19,0	0,779	3,0
L ₂	0	1	24,4	12,2	1,283	3,9
L ₅	1	1	10,7	5,4	1,000	2,4
L _w	1	-1	86,2	43,1	-1,000	19,4
L ₁₂	-1	2	34,1	34,1	2,186	12,1
L ₄₃	4	-3	11,4	5,7	0,070	9,1
L ₅₄	5	-4	10,1	10,1	-0,055	10,3
L ₉₇	9	-7	5,4	2,7	0,004	9,7
L ₀	-	-	≈5,4	≈2,7	0,000	10,0
L ₁	-	-	≈10,7	≈5,4	2,000	20,0

Alguns programas permitem a realização de algumas destas combinações lineares, levando à resolução das ambigüidades. Um exemplo é o programa GEONAP, descrito na seção 2.8.1. Tais combinações lineares são de extrema importância para a resolução das ambigüidades e são comprovadamente necessárias para a obtenção de boa precisão nos levantamentos GPS e em soluções PDGPS.¹²

2.5 DETERMINAÇÃO DAS AMBIGÜIDADES

A determinação das ambigüidades faz parte do problema central quando do emprego do sistema GPS, na obtenção da posição com alta precisão. Para observações com curto intervalo de tempo, sua solução torna-se mais difícil. Conforme a seção 2.3.2, com a DDF são totalmente eliminadas as incógnitas referentes aos retardos dos relógios do receptor e do satélite; assim, os valores inteiros são aceitos como ambigüidades. Para a SDF e observações não-diferenciadas, as ambigüidades são correlacionadas com os erros, de modo que o valor inteiro não pode ser determinado.

Durante um posicionamento, se houver perdas dos sinais dos satélites, há necessidade da determinação de novas ambigüidades. As causas para a ocorrência desse fenômeno podem depender da observação ou do receptor. No primeiro caso, tem-se: obstruções, em particular

¹² Para maiores detalhes consultar WÜBBENA (1991), SEEGER (1993) e WANNINGER (1994).

para observações cinemáticas; ruído do sinal, em particular causado pelo efeito de multicaminho e cintilação; e baixa elevação dos satélites. Para o segundo, tem-se: inclinação da antena nas aplicações cinemáticas (aviões, barcos); sinal fraco, em parte causado por interferências; e pelo processamento do sinal (SEEBER, 1993).

Estratégias tem sido desenvolvidas para a determinação das ambigüidades nos levantamentos cinemáticos. Elas consistem em resolver as ambigüidades, inicialmente, no modo estático; em seguida, com a antena em movimento, transportá-la para os outros pontos. Porém, quando ocorrer perda de sinal, é necessária uma reinicialização.¹³ Para as plataformas em movimento, como navios, veículos automotivos, aviões e trens, a reinicialização é praticamente impossível, sendo então necessário resolver essas ambigüidades em tempo real, durante o movimento, o mais rápido possível. Desta forma é possível alcançar uma precisão da ordem de alguns centímetros nos levantamentos cinemáticos (ver figura 02).

Os métodos de solução das ambigüidades são:

- geométrico;
- combinação do código e da fase da portadora;
- método de procura das ambigüidades; e
- métodos combinados.

O método geométrico baseia-se na modificação da relação geométrica entre o receptor e o satélite em função do tempo. Da observação contínua da fase da portadora e do conhecimento da posição dos satélites resulta um valor real estimado para as ambigüidades, o que conduz a uma precisão satisfatória para a posição da antena. Com a fixação das ambigüidades, ou seja, com a determinação do seu valor inteiro e a aplicação das equações (2.14) e (2.15), obtém-se um posicionamento com uma precisão melhor. Esse método apresenta, como vantagens, uma modelagem simples, a utilização de poucos satélites e o emprego em distâncias curtas, longas e muito longas. Além disso, ele proporciona rapidamente resultados aproximados com as ambigüidades obtidas pela solução flutuante. Em contrapartida, apresenta, como desvantagens, a necessidade de longo período de observações (para uma geometria suficiente), é influenciado pela não-modelagem dos efeitos sistemáticos, como o ionosférico, o troposférico e a órbita dos satélites, e é sensível à não-recuperação das perdas de sinal. O tempo de observação será fixado em função da distância entre as estações. Como no levantamento cinemático, é necessária a observação

¹³ Para maiores detalhes, consultar SEEBER (1993) e CRIOLLO (1993).

continua de pelo menos 4 satélites, com tempo de observação superior ao do levantamento estático; esse não é um método apropriado para o levantamento cinemático.

O método de combinação do código e da fase da portadora para a resolução das ambigüidades utiliza as não-ambigüidades levantadas na fase do código, como os comprimentos de onda adicional (SEEBER, 1993). Pela diferença das equações (2.3) e (2.14) obtém-se:

$$PR_L - PR_C = dT_I + \lambda \cdot N + d\epsilon \quad (2.26),$$

onde:

PR_L : pseudodistâncias obtidas pelas observações da fase da portadora;

PR_C : pseudodistâncias obtidas pelas observações dos códigos;

dT_I : atrasos na propagação do sinal devido à ionosfera;

λ : comprimento da onda do sinal da portadora;

N : ambigüidade procurada; e

$d\epsilon$: demais erros existentes no sistema.

Essa técnica independe da geometria dos satélites, do efeito de não-sincronismo dos relógios dos receptores e dos satélites, e do efeito de propagação do sinal na atmosfera. Contudo, deve-se considerar (ver eq.(2.26)): a diferença entre os efeitos multicaminho gerados pelos sinais e pela influência do tempo de retardo do *hardware* para os satélites e receptores, as ambigüidades da fase da portadora e os efeitos ionosféricos. Quando há a disponibilidade de receptores de dupla frequência com código P, de baixo ruído, é possível eliminar a influência da ionosfera (dT_I). Se a parcela dos resíduos ($d\epsilon$) for pequena (menor que meio comprimento de onda), então as ambigüidades são determinadas em um curto espaço de tempo. O sistema pode ser utilizado para aplicações cinemáticas e para bases longas e muito longas (SEEBER, 1993). A velocidade de convergência da solução é acelerada quando da utilização de uma combinação linear, como a técnica *Wide Lane* (seção 2.4), a qual permite determinar as ambigüidades em poucos ciclos (HEIMBERG, 1994). Para bases curtas, utiliza-se a técnica *Extra-Wide Lane*, que permite a avaliação direta das ambigüidades do sinal ionosférico (L_1), desde que haja o desaparecimento da influência ionosférica relativa (WÜBBENA, 1991). O comprimento da onda para a *Extra-Wide Lane* é de aproximadamente 1,72 m ($\lambda_w \cdot 2$),

permitindo uma redução do tempo de observação e sendo utilizada na resolução das ambigüidades *On the Way* (OTW) ou *On the Fly* (OTF) nos levantamentos cinemáticos.

O método de Procura das Ambigüidades tem estado em contínuo desenvolvimento, com o objetivo de reduzir o tempo de observação em bases. A idéia básica desse método consiste na procura da combinação linear ótima, sendo que o algoritmo de procura inicia a busca utilizando ambigüidades obtidas por uma solução flutuante. As ambigüidades inteiras são obtidas com técnicas de otimização. As possíveis combinações encontram-se num espaço de procura definido para as soluções de pseudodistâncias diferenciais. Se o espaço de procura for pequeno, nem todas as combinações poderão ser testadas, havendo ainda o risco de algoritmo de procura fixar uma falsa solução, pois a solução verdadeira está fora do espaço preestabelecido. Esse método apresenta a desvantagem de ser sensível aos erros sistemáticos e de requerer a observação do máximo número de satélites disponíveis. Apresenta como a resolução rápida das ambigüidades, a possibilidade de aplicação em levantamentos cinemáticos e a utilização da natureza inteira das ambigüidades. Esse método foi descrito por diferentes autores, entre eles MADER, REMONDI, WÜBBENA, FREI, e LACHAPELLE, diferindo apenas no tipo e velocidade do algoritmo de procura. Normalmente, baseiam-se no método dos mínimos quadrados (*least square ambiguity searching method*) e na função de mapeamento da ambigüidade (*ambiguity mapping function method*), os quais serão descritos na sequência. Ainda existem outros métodos, na literatura, como o filtro adaptado segundo *Magil* (BROWN and HWANG 1983), o método de probabilidade máxima (LANDAU 1988), a rápida abordagem de resolução das ambigüidades -*FARA* - (FREI, BEUTLER, 1990) e o ajustamento dos mínimos quadrados de decorrelação das ambigüidades -*Lambda* - (TEUNISSEN, JONGE and TIBERIUS, 1995).

O método dos mínimos quadrados baseia-se na escolha de quatro satélites, como satélites de referência, cujas ambigüidades são determinadas dentro do espaço de procura. A ambigüidade a ser estimada para um satélite adicional será procurada nesse espaço. Através de um teste, várias possibilidades de soluções serão rejeitadas ou aceitas, restando, ao final, apenas a solução correta. O problema desse método consiste no fato de que nem todas as combinações das ambigüidades poderão ser testadas e que, na presença de efeitos troposféricos e ionosféricos extremos, a solução correta poderá ser prematuramente rejeitada. Para levantamentos com apenas 6 satélites, a solução pode ser possível com tempo de observação igual a 2 minutos, e para 5 satélites, com 5 minutos ou mais (HATCH, 1992).

Já a função de mapeamento da ambigüidade, descrita por MADER (1992), baseia-se numa função exponencial para dupla diferença de fase, representada por:

$$A(x_0, y_0, z_0) = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^2 \cos(2\pi(\nabla\Delta\phi_{obs}^{kl}(x, y, z) - \nabla\Delta\phi_{calc}^{kl}(x_0, y_0, z_0))) \quad (2.27),$$

onde:

$\nabla\Delta\phi_{obs}^{kl}(x, y, z)$: dupla diferença de fase observada para a antena em movimento (incógnita);

$\nabla\Delta\phi_{calc}^{kl}(x_0, y_0, z_0)$: dupla diferença de fase calculada para a posição da antena aceita, a qual resulta das ambigüidades "a priori";

l: variável para as observáveis L_1 e L_2 ;

j: variável para os satélites observados; e

k: variável para a época.

Este método consiste na procura da posição da antena (x_0, y_0, z_0) em um espaço de soluções fornecido, aceitando um máximo para a equação (2.27). Esse caso é para quando se tem a posição da antena "a priori" idêntica à solução procurada, ou seja $(x, y, z) = (x_0, y_0, z_0)$. Através da retro-substituição, resulta da posição da antena um valor inteiro para as ambigüidades. A função necessita de uma posição inicial e dos dados sobre o espaço de procura. O volume de procura deve ser suficientemente grande e conter a posição correta. Quanto maior for o volume de procura, maior será o tempo de cálculo. Por isso, no emprego cinemático, é calculada inicialmente a solução GPS Diferencial, com o código suavizado pela fase da portadora. No emprego cinemático sem a inicialização estática, no mínimo 5 satélites são necessários. O algoritmo rápido de procura das ambigüidades trabalha com 5 satélites. Um satélite adicional favorecerá a solução, particularmente durante a inicialização da fase. Para essa inicialização, foram desenvolvidos métodos como o intercâmbio de antenas, ocupação de uma linha de base conhecida, o estático regular e o pseudocinemático, os quais se encontram descritos com detalhes em SEEBER (1993), CRIOLLO (1993) e ROMÃO (1995). Segundo MADER (1992), a função de mapeamento de ambigüidade necessita apenas de 14 observações para resolver as ambigüidades. Para observações com 7 satélites e dupla frequência, esta função será de uma época. Devido à elevada quantidade de posições-teste, é necessário um

longo tempo de cálculo; logo, não é um método próprio para o emprego em tempo real (ABIDIN, 1993).

O método combinado refere-se à combinação de todas as possibilidades mencionadas anteriormente e deverá fornecer os melhores resultados, pois outras técnicas podem ser adicionadas. A idéia básica é de que cada ambigüidade fixada melhora e estabiliza a solução para o próximo passo de iteração. As ambigüidades para as linhas de base curtas são, na maioria dos casos, mais fáceis de resolver do que as ambigüidades para as linhas de base longas.

Para levantamentos marítimos, é necessário resolver as ambigüidades durante o percurso descrito sem a inicialização estática. Essa técnica é denominada *on the way* - OTW, sendo mais conhecida por *on the fly* - OTF. Trata-se da determinação correta das ambigüidades, tão rápido quanto possível e em movimento, dentro de poucas épocas de observação. Em princípio as coordenadas são desconhecidas e a solução deve ser fornecida em tempo real. Muitas técnicas têm sido propostas para a resolução OTW. Entre essas, podem-se citar as seguintes: *extra-wide laning* (WÜBBENA, 1988 e 1989), *método dos mínimos quadrados* (MADER, 1990 e REMONDI, 1990), *função de mapeamento da ambigüidade* (HATCH, 1991), *kinematic GPS without static initialization* (REMONDI, 1985) e *Kalman filter techniques* (BROWN and HWANG, 1992). As técnicas da OTW diferem entre si pelo critério de rejeição e aceitação utilizado, e pelo processo de procura, conforme citamos anteriormente, e pelo critério de certeza para parar o processo. Essa é uma técnica segura para distâncias em torno de 10 a 20 km. Há resultados favoráveis para distâncias de 50 km, obtidos através de pesquisas desenvolvidas pelo IfE (SEEBER et al., 1995).

Para maiores detalhes sobre essas técnicas consultar SEEBER (1993), WÜBBENA (1991, 1992, 1993), ABIDIN (1994), DELOACH, WELLS and DODD (1995), TEUNISSEN, JONGE and TIBERIUS (1995), ROTHACHER and SCHÄR (1995).

2.6 ERROS DO SISTEMA

Os erros presentes no sistema GPS podem conduzir a erros nos resultados. Para se obter alta precisão nos posicionamentos, é necessário tentar minimizá-los ou eliminá-los. Na seção 2.3.2 verificou-se que, com a aplicação da DDF, há uma eliminação dos erros referentes

ao estado dos relógios do satélite e do receptor em relação ao tempo GPS, podendo chegar a reduções dos demais erros.

A precisão para o posicionamento pontual GPS depende essencialmente: da precisão para o levantamento de uma pseudodistância, expressa pelo *User Equivalent Range Error - UERE* - ou pelo desvio padrão associado (σ_1); e da configuração geométrica dos satélites com respeito à antena do receptor. A relação entre o σ_1 e o desvio padrão associado para a posição σ_p é descrita através do escalar DOP - *Dilution of Precision* - o qual é freqüentemente utilizado em navegação e representa uma medida para a geometria. Tem-se:

$$\sigma_p = \text{DOP } \sigma_1 \quad (2.28).$$

A partir desse DOP, derivam-se outros, como por exemplo: HDOP - *Horizontal DOP* -, VDOP - *Vertical DOP* -, PDOP - *Position DOP* -, TDOP - *Time DOP* - e GDOP - *Geometrical DOP*. Pelos métodos de ajustamento e pela lei de propagação dos erros (GEMAEL, 1994), obtém-se a matriz covariância (Σ_x) para o posicionamento absoluto GPS, sendo:

$$\Sigma_x = \sigma_1^2 (A^T A)^{-1} = \sigma_1^2 Q \quad (2.29);$$

Dos elementos da diagonal principal da matriz Q resultam as grandezas anteriormente citadas. Por exemplo:

$$\text{GDOP} = (\text{tr } (A^T A)^{-1})^{1/2} \quad (2.30).$$

Antes da constelação GPS ter sido declarada operacional, era necessário trabalhar com "janelas de observação", procurando valores favoráveis para os DOP. Atualmente, há poucos intervalos de tempo em que o DOP apresenta um valor não satisfatório; o PDOP mantém-se na maior parte do tempo abaixo de 3, o que contribui de forma satisfatória para a navegação.¹⁴

Os erros presentes no sistema GPS podem ser ordenados em erros oriundos do satélite, erros na propagação do sinal e erros oriundos do receptor. Esses referem-se:

¹⁴ Para maiores detalhes consultar SEEGER (1993) e HOFMANN-WELLENOF (1994).

- ao estado dos relógios do receptor e do satélite em relação ao tempo GPS;
- à órbita do satélite;
- à propagação do sinal na atmosfera;
- ao efeito multicaminho (*Multipath*);
- ao centro de fase da antena; e
- ao ruído nas observações.

Os erros devidos ao estado dos relógios dos satélites dizem respeito ao não-sincronismo do relógio do satélite com o tempo GPS. O comportamento desses relógios é enviado ao usuário na forma de coeficientes de um polinômio de segundo grau, os quais são preditos pelo segmento de controle. Esse erro influencia igualmente todas as pseudodistâncias levantadas, e o erro resultante é da ordem de 1 a 10 m. Sobre o efeito do SA, o erro pode estar no intervalo de 1 a 100 m. Para os posicionamentos relativos (estando os relógios dos receptores sincronizados), esse erro é praticamente eliminado.

O erro devido ao estado do relógio dos receptores é importante. No posicionamento por satélites, conforme 2.3, esse erro é uma das incógnitas. Ele é mais crítico quando as medidas não são efetuadas em tempos idênticos nos receptores. Um erro de 1 μ s no relógio corresponde a um erro de 300 m na distância.

Por erro orbital, compreende-se o desvio existente entre a órbita verdadeira e a transmitida (*Broadcast Ephemerides*) para os satélites. Verifica-se que um erro nas efemérides acarretará um erro orbital. Esse erro decompõe-se em: ao longo da trajetória, radial à trajetória e, ao longo do raio vetor, receptor-satélite. O componente radial é o que atua diretamente sobre a determinação da distância, principalmente para o posicionamento absoluto. Para o posicionamento relativo com as estações não muito distantes entre si, grande parte do erro é eliminado pela DDF. O efeito do erro orbital (dr) é dado pela equação a seguir (SEEBER, 1993):

$$dr = \frac{db \cdot r}{b} \quad (2.31).$$

O erro atua no comprimento da linha base (b), para uma pseudodistância avaliada (r), conduzindo a um erro propagado na linha base (db). Verifica-se que um erro orbital de 25 m acarreta um erro da ordem de 1 ppm na linha de base. Atualmente, o erro na órbita dos satélites (*Broadcast Ephemerides*) para o posicionamento absoluto é de 2 a 10 m e, com o SA ativado, é de 10 a 100 m; e para o posicionamento relativo, é de 0,1 a 0,5 ppm e, com o SA ativado, é

de 0,5 a 5 ppm (ver tabelas 04 e 05, respectivamente). O *International GPS Service for Geodynamics* - IGS -, através de observações diárias a partir de uma rede mundial de estações GPS, fornece os parâmetros de rotação da Terra e parâmetros orbitais de precisão para os satélites. Com esse serviço, obtém-se um erro médio de aproximadamente 10 cm por coordenada (WEBER, 1994).¹⁵

A atmosfera acarreta um desvio na trajetória do sinal emitido do satélite ao usuário. Uma medida para determinar essa modificação nos diferentes meios é o índice de refração (n), relacionando a constante da fase do sinal (k) com a do vácuo (k_v). É preferível, porém, expressar pela refratividade, representado pela equação (2.32) (SEEBER, 1993).

$$N = (n - 1) \cdot 10^6 \quad (2.32),$$

onde:

n : índice de refração.

O sinal GPS sofre a influência de duas camadas da atmosfera, a troposfera e a ionosfera, as quais perturbam a trajetória do sinal, acelerando-a ou retardando-a. A primeira camada possui uma espessura de 50 km e é eletricamente neutra; nela o índice de refração afasta-se muito pouco da unidade. Esse índice sofre alterações devido às condições meteorológicas locais (temperatura seca e úmida, pressão atmosférica e pressão do vapor d'água). A segunda camada apresenta uma espessura de 50 a 1.000 km, e o índice de refração estará compreendido entre 0 e 1. Nessa camada há a ionização dos gases devido a atividade solar, resultando em um meio ionizado, o qual provoca atrasos na propagação do sinal.

Os atrasos da propagação do sinal na troposfera são críticos para o posicionamento de precisão e para a determinação de uma linha de base longa, principalmente para a altitude. Por ser esse um meio não dispersivo, os atrasos são independentes da frequência. A influência troposférica na medida da pseudodistância é decomposta em uma componente seca (pressão, temperatura) e uma úmida (pressão do vapor d'água). A primeira é descrita por modelos matemáticos familiares (SAASTAMOINEN, 1973 and HOPFIELD, 1971) com uma precisão de ± 1 %. A segunda, mais difícil de ser modelado (WELLS et al. 1986), representa somente 10 % da refração troposférica total. Para estações próximas (até 50 km), o erro troposférico residual desaparece quase que por completo, ao se utilizar a DDF. A modelagem com as

¹⁵ Citado por ROMÃO (1995).

observações meteorológicas locais é pouco representativa. Em regra geral, os programas dispõem de uma atmosfera padrão para ser aplicada ao modelo matemático. No programa GEONAP (seção 2.8.1), é aplicado o modelo de HOPFIELD (1971) and BLACK (1978) , o qual introduz uma escala troposférica para melhorar os resultados.

A refração ionosférica depende da frequência do sinal, da localização geográfica e do tempo. Os erros que podem surgir na medida das pseudodistâncias podem variar de 1 m a 100 m (WELLS et al., (1986); KLOBUCHAR, (1991)). Esses erros serão menores nos casos em que a atividade solar é mínima. No meio ionosférico, observa-se que a velocidade de propagação da fase não é a mesma que a velocidade de grupo (propagação dos códigos). Os índices de refração são representados respectivamente por:

$$n_p = 1 - 40,3 \frac{n_e}{f^2} \quad (2.33) \text{ e}$$

$$n_g = 1 + 40,3 \frac{n_e}{f^2} \quad (2.34),$$

onde:

n_p : índice de refração para a medida da fase da portadora;

n_g : índice de refração para a medida da fase do código;

n_e : conteúdo de elétrons ao longo do caminho de propagação;

f : frequência da fase da portadora.

Esse conteúdo de elétrons é definido como o número de elétrons livres contidos em uma coluna ao longo do sinal (satélite-receptor) de base igual a um metro quadrado. Essa grandeza é indicada pelo TEC - *Total Electron Content*-, e a unidade empregada é 1 TECU = $1 \bullet 10^{16}$ el/m² . O TECU pode variar de 1 (à noite) a 200 (durante o dia) e depende do grau de ionização da atmosfera (atividade solar), do ângulo de elevação e azimute dos satélites observados e da latitude da estação de observação. Para um receptor de dupla frequência, o erro devido ao efeito ionosférico, em primeira ordem, será completamente eliminado e para um receptor de simples frequência, em condições normais, a influência do erro é da ordem de 1 ppm. Segundo WANNINGER (1993), é possível alcançar, para os levantamentos cinemáticos e rápido estático, utilizando um receptor de simples frequência e em más condições, um erro nas coordenadas acima de 15 ppm. O erro residual, segundo

SEEBER (1989), será menor que 1 cm e é dependente da distância. Nas regiões equatorial e polares poderá haver alta permanência desses erros, visto que há fortes anomalias (WANNINGER, 1993). Ressalta-se o efeito de cintilação, que apresenta uma forte atuação, principalmente nas regiões equatoriais, para uma latitude magnética de $\pm 10^\circ$. Esse efeito tem uma atuação máxima de uma hora, entre o pôr-do-sol até a meia-noite e, parcial, nas primeiras horas da manhã (WANNINGER, 1993). A amplitude da cintilação tem uma forte influência sobre o sinal GPS, acarretando perda de sinais. No Brasil, foram determinados erros relativos superiores a 30 ppm na determinação da linha de base (10 km) com simples frequência. (CAMPOS et al., 1989).

Como se observa, as influências atmosféricas sobre o sinal devem ser diretamente medidas e/ou modeladas matematicamente; posteriormente, devem ser consideradas dentro do processo de ajustamento.¹⁶

O efeito multicaminho ocorre quando o sinal emitido pelo satélite chega à antena do usuário por mais de um caminho, ou seja, quando chega o sinal enviado diretamente pelo satélite e pelos sinais refletidos. Então há na antena a superposição dos sinais e, conseqüentemente, uma modificação da fase original. Segundo HEIMBERG (1994), isso causa, na medida da fase do código, um erro da ordem do metro. Esse erro é diretamente dependente do tipo de antena utilizada (menor para as antenas de aba larga) e do receptor (menor para os que possuem as portadoras). Há modelos matemáticos que permitem estimar esse efeito, desenvolvidos por GEORDIADOU and KLEUSBERG (1988) e EVANS and HERMANN (1990). Nos posicionamentos com DDF, esse erro não é eliminado, podendo até apresentar um aumento na sua influência.

O erro de centro de fase da antena consiste na diferença que existe entre o centro mecânico da antena e o seu centro eletromagnético. Entre antenas de diferentes fabricantes existe uma diferença; esse erro pode ser da ordem milimétrica a centimétrica. Para posicionamentos relativos, é possível considerar esse erro como eliminado, se as antenas são construídas pela mesma empresa e se estão igualmente orientadas. Para antenas diferentes, é conveniente realizar uma calibragem da antena (WÜBBENA et al., 1996) na qual serão estimadas as correções para cada tipo de antena empregada.

¹⁶ Para maiores detalhes, consultar SEEBER (1993), WANNINGER (1994) e HOFMANN-WELLENHOF et al. (1993).

O ruído das observações é função do tipo de observáveis. Viu-se na seção 2.3 que, para as observações dos códigos P, ele é da ordem de 0,3 a 1 m, e, para o C/A, é da ordem de 1 a 3 m. Para posicionamento relativo, com simples diferença de fase, o ruído é ampliado pelo fator $\sqrt{2}$; logo, para levantamentos com o código P, tem-se um erro da ordem de 0,4 a 1,4 m, e, com o código C/A, de 1,4 à 4,2 m. No caso dos levantamentos DGPS, esse problema é contornado com a observação do código suavizado pela portadora, conforme citado na seção 2.3.2. Para observações da fase da portadora, esse erro é reduzido, visto que representa 1% do comprimento da onda do sinal enviado. O problema, então, passa a ser a resolução das ambigüidades para curtos comprimentos de onda (ver seção 2.4 e 2.5).

Para maiores detalhes consultar SEEBER (1993), KRUEGER (1994) e HOFMANN-WELLENHOF (1993).

2.7 RECEPTORES

Atualmente, o mercado oferece uma grande quantidade de receptores GPS e de fabricantes. Na revista *GPS-World* de janeiro de 1995, estão relacionados 345 tipos de receptores e 54 fabricantes. Há uma busca constante no desenvolvimento de receptores portáteis, leves e capazes de fornecer ao usuário uma melhor precisão, com preços cada vez menores.

Os receptores existentes no mercado são classificados, de modo geral, em geodésicos e de navegação (ROMÃO, 1995).

Os receptores de navegação são os que apresentam pelo menos uma frequência (L_1) com o código C/A, produzem uma solução, em tempo real, indicada pelo visor ao usuário do sistema. Existem modernos receptores de navegação, os quais contêm outras funções como: escolha automática de quatro satélites com indicação do DOP, possibilidade de conexão com computadores, "plotters" visando à transferência e edição dos dados. Com esses receptores, a precisão fica limitada pela introdução da técnica SA. Segundo BAUER (1994), o preço desses receptores está na faixa de 700 a 7.000 reais, e a tendência é de haver cada vez maior redução nos preços. No âmbito marinho, o ideal é trabalhar com um receptor de navegação capaz de receber as correções geradas pelo sistema GPS Diferencial (ver seção 3).

Os receptores geodésicos fornecem maiores possibilidades que os receptores de navegação, como por exemplo receber a fase dos códigos e das portadoras. Nos receptores

modernos, é possível obter precisão de poucos decímetros, para medidas do código C/A, e de décimo de milímetros, para a medida da fase das portadoras, atingindo o milímetro quando da solução das ambigüidades. Um receptor geodésico moderno apresenta: 8 a 12 canais; capacidade de receber a portadora L_2 completa, quando ativado o efeito AS; e grande capacidade de memória interna. A antena, por sua vez, deve apresentar o centro eletrônico de fase estável, uma proteção contra o efeito multicaminho, possibilidade para a correta centragem e determinação da sua altura. Para a determinação de pontos geodésicos com alta precisão e para se alcançar boa precisão nos levantamentos cinemáticos, após a introdução das técnicas AS e SA, novos receptores foram desenvolvidos. Esses possibilitam a observação do completo comprimento da onda L_2 , mesmo sem as observações do código P. As diferentes técnicas desenvolvidas e estabelecidas são os seguintes (ver figura 07):

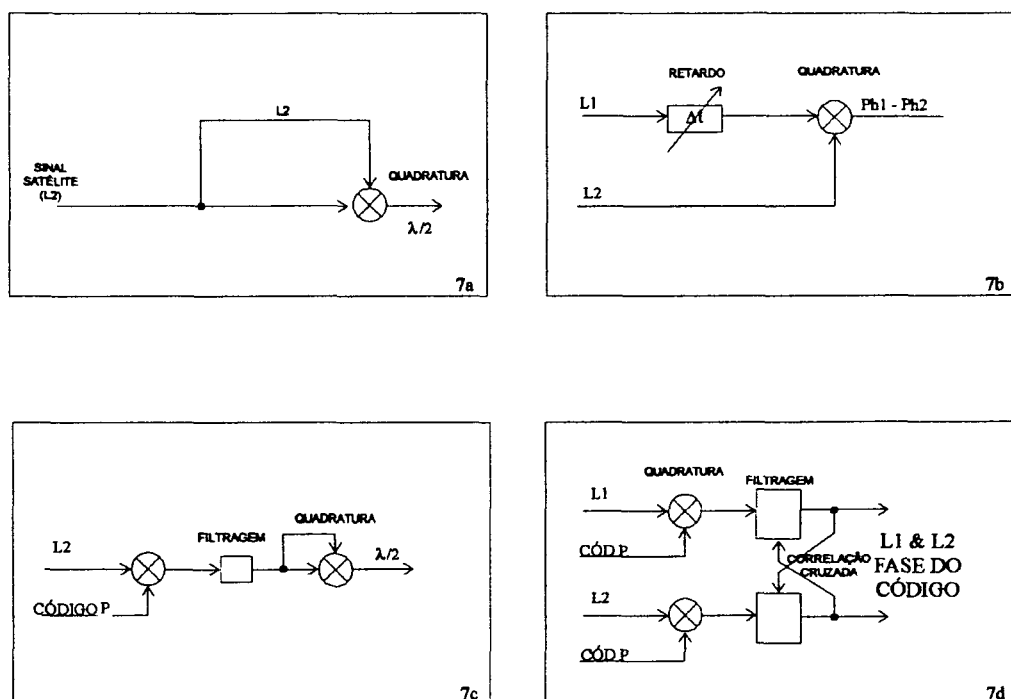
- técnica de quadratura convencional (*Squaring*);
- correlação cruzada;
- técnica de quadratura após a correlação do código P; e
- método de "P-W Tracking" (*Ashtech technique*).

A técnica de quadratura convencional faz com que a frequência L_2 seja multiplicada por ela mesma, proporcionando o desaparecimento do código Y. Através dessa técnica, resulta a portadora, com meio comprimento de onda. Segundo THIEL (1995), é uma técnica fraca e resulta em leves perdas de sinal (figura 07a).

A correlação cruzada conduz a melhores resultados e baseia-se no fato de que os sinais das portadoras são modulados pelo código Y. Realiza-se uma correlação entre os sinais (L_1 e L_2), estando o sinal da portadora L_1 com um retardo no tempo decorrido. Esse sistema apresenta como vantagens: a determinação da diferença de tempo decorrido; a medida da fase da portadora com completo comprimento de onda; e uma melhora da relação sinal/ruído em 3 dB (figura 07b).

A técnica de quadratura após a correlação do código P consiste na correlação do código Y modulado sobre a portadora L_2 recebida com o código P, passando o restante do sinal à filtragem e a uma quadratura. Com esse sistema, o ganho da relação sinal/ruído é de 13 dB, quando comparado com a técnica de quadratura convencional. A desvantagem desse sistema consiste no fato de que a portadora permanece com meio comprimento de onda (figura 07c).

FIGURA 07 - TÉCNICAS APLICADAS PELOS RECEPTORES
(Fonte: THIEL, 1995)



O método de "P-W Tracking" baseia-se na correlação do código Y modulado sobre as portadoras L_1 e L_2 com o código P gerado. No código Y há partes não alteradas do código P. Esse método fornece uma melhoria na relação sinal/ruído de 13 dB quando comparado à técnica de correlação cruzada (figura 07d).¹⁷

No âmbito marinho, destacam-se os receptores de navegação. São preferíveis receptores capacitados a trabalhar com o sistema GPS Diferencial, os quais, devido a sua miniaturização, estão se tornando mais portáteis, sem perda de precisão e apresentando um baixo consumo de energia e leveza. O mercado oferece um leque de opções para esses tipos de receptores, e a escolha é em função da precisão desejada no levantamento, bem como da disponibilidade econômica. É possível trabalhar com um simples receptor *GARMIN* (GPS38, GPS40, GPS45), ou com receptores do tipo *ASHTECH* (MS-XII, Z-12), *TRIMBLE* (4000R), bem superiores aos anteriores. Também, para algumas aplicações do DGPS, têm sido utilizados sensores, como o Sensor IITM, o SCA-12S (*Ashtech*), o Acutis DGPS (*Trimble*) e outros. Atualmente, está em desenvolvimento, no Brasil, a utilização da portadora do sinal dos radiofaróis marítimos (*marine radio beacons*), para a transmissão das correções às

¹⁷ Para maiores detalhes, consultar THIEL (1995).

embarcações, através da modulação MSK (*minimum shift keying*) ou deslocamento de pulso. É um projeto que está sendo implantado pela DHN, porém com resultados iniciais ainda não satisfatórios. Nesse caso, opera-se com um receptor DGPS/MSK (p.ex. 4000R - *Trimble Navigation*) na estação de referência e um receptor DGPS marítimo (p.ex. *Navbeacon XL - Trimble Navigation*). Os receptores com o sistema DGPS devem estar capacitados para trabalhar com o formato RTCM SC-104 (ver seção 3.4) para a transferência das correções. Para os trabalhos cinemáticos de alta precisão em tempo real, há à disposição no mercado o sistema denominado RTK (*Real Time Kinematic*). Um exemplo é o sistema desenvolvido pelo fabricante *Trimble Navigation*, denominado de *GPS Total Station*, que é composto de dois receptores GPS (receptor geodésico - Trimble 4000 SSI), um sistema de transferência de dados (*Data Link*) e um computador de campo. Os resultados da determinação das coordenadas durante o levantamento são armazenados nos receptores. Esse fator contribui para uma condição ideal, conduzindo para o aumento da entrada do GPS no cadastro, com o registro de coordenadas para um sistema de informações geográficas, e, naturalmente, também na hidrografia. Segundo ROMÃO (1995), esse sistema fornece uma precisão de 1 a 3 cm para linhas de base de até 10 km.¹⁸

2.8 PROGRAMAS

Nos levantamentos em ambiente marinho e fluvial têm sido utilizado o sistema GPS para posicionar embarcações, associando-o a outros sensores como por exemplo o ecobatímetro; ou o sistema GPS de forma independente. Com o emprego desses sistemas pode-se utilizar programas GPS e programas hidrográficos. Na sequência faz-se referência a alguns tipos desses programas.

Desde o surgimento do GPS, muitas tem sido as aplicações encontradas para esse sistema. Dependendo do fim a que se destina o levantamento, é necessário trabalhar com os dados brutos, obtendo-se uma maior ou menor precisão. Diversos grupos tem desenvolvido programas GPS específicos para as suas necessidades. Atualmente, pode interessar aos usuários trabalhar em muitos levantamentos com o DGPS Preciso (PDGPS), que fornece precisão decimétrica. Para alcançar esse objetivo, é necessário utilizar observações da fase da

¹⁸ Para maiores detalhes sobre os receptores, recomenda-se a leitura de prospectos fornecidos pelos próprios fabricantes.

portadora. O tratamento dos dados obtidos nos levantamentos são realizados com progressos, pelos fabricantes dos receptores ou por instituições de pesquisa. Dentre os programas GPS, estão o *GPSurvey*, *PRISM IITM* e *GEONAP*. Também encontra-se outros como: o *COMPASS* e *GNRT*.

Atualmente, no âmbito dos levantamentos marinhos, alguns programas hidrográficos comerciais e científicos estão sendo utilizados, como é o caso do *HYPACK* e *HYMAS*.

Na seqüência, apresenta-se uma descrição sobre o programa *GEONAP* e, de forma geral, sobre outros programas.

2.8.1 GEONAP

O *GEONAP* (*GEOdetic NAVSTAR Positioning*) é um programa GPS de processamento de dados geodésicos brutos, inicialmente desenvolvido no *Institut für Erdmessung* (WÜBBENA, 1989,1991 - Hannover - Alemanha). É continuamente aprimorado e comercializado pela empresa *Geo++ GmbH*. O programa permite o processamento de dados obtidos de um levantamento estático, cinemático ou pseudocinemático, bem como a utilização de diferentes tipos de receptores. O *GEONAP* emprega observações GPS não-diferenciadas. Obtém-se a avaliação das ambigüidades através da combinação dos códigos e da fase das portadoras, do método geométrico, ou através da utilização dos sinais ionosféricos. Esse programa permite a realização da combinação linear das portadoras L_1 e L_2 e ainda aplica a técnica da *Wide Lane* e da *Extra-Wide Lane* (ver seção 2.4).

Uma das grandes vantagens que esse programa apresenta é a modelagem dos parâmetros, os quais podem ser estimados simultaneamente, através de uma combinação do método dos Mínimos Quadrados com o Modelo de Gauss-Markov e do Filtro Kalman. Os parâmetros factíveis de serem estimados são:

- coordenadas do receptor;
- erros dos relógios do receptor e do satélite;
- órbita dos satélites para arcos curtos;
- atraso do sinal interno no *hardware* do satélite e do receptor;
- refração ionosférica e troposférica; e
- ambigüidades.

Na sequência comenta-se sobre estes parâmetros.¹⁹

- Coordenadas do receptor:

Um conjunto de três coordenadas é estimado para cada receptor, para cada época de observações cinemáticas e para cada estação ocupada num posicionamento estático. Todos os métodos de levantamentos GPS, como o estático, o cinemático, o pseudocinemático, o *stop and go*, são possíveis de serem tratados. As coordenadas de pontos estáticos podem ser processadas juntamente com um programa de ajustamento de redes que permite a combinação de sessões múltiplas dentro da rede. Nos casos de observações cinemáticas, pseudocinemáticas e *stop and go* obtém-se automaticamente a avaliação da trajetória por ponto.

- Erros dos relógios do receptor e do satélite:

Os erros nos relógios do receptor e do satélite são modelados por um polinômio de 2º grau e por um modelo estocástico de até 4 parâmetros. Para os relógios dos satélites (relógios de Quartzo, Césio, ou Maser de Hidrogênio) é possível utilizar o modelo estocástico completo, ou seja, com os 4 parâmetros.

- Órbita dos satélites para arcos curtos:

Os parâmetros keplerianos para arcos curtos podem ser estimados para cada satélite, permitindo uma melhoria na órbita do satélite.

- Atraso do sinal interno no *hardware* do satélite e do receptor:

Os diferentes retardos para os diferentes sinais ou componentes dos sinais podem ser modelados com um polinômio de 2º grau ou ainda com os parâmetros estocásticos.

- Refração ionosférica e troposférica:

Após a modelagem da refração troposférica utilizando o modelo padrão (Hopfield-Black), poderá ser estimado o erro residual troposférico, para cada estação, através de um parâmetro de escala. O fator de escala é introduzido como constante para todos os satélites ou como uma grandeza estocástica. A modelagem estocástica do erro troposférico residual é essencial para se obter alta precisão em redes geodésicas com sessões longas.

¹⁹ Para maiores detalhes, consultar WÜBBENA (1991).

O retardo do sinal na ionosfera é praticamente eliminado com a medida das duas frequências (quando disponível), e o resíduo pode ser avaliado através de modelo ionosférico ou através da determinação dos coeficientes de um polinômio de superfície (SEEBER et al., 1995).

- Ambigüidades:

Conforme a seção 2.5, as ambigüidades são estimadas para cada satélite e para cada sinal da portadora. Novas ambigüidades são inicializadas a cada tempo e recuperadas quando há uma perda de sinal. As ambigüidades que permanecem sem solução para uma sessão podem ser fixadas no ajustamento da rede.

O GEONAP é um pacote de programas. Por ser de caráter científico, exige do usuário experiência, capacidade de interpretação e análise do processamento e dos resultados obtidos.

É um programa universal de exploração geodésica muito flexível que permite a determinação da posição da antena com alta precisão. As principais características desse programa são enumeradas a seguir:

- Trabalha com dados obtidos por diferentes tipos de receptores:

Como se verá na sequência, o GEONAP permite padronizar os dados brutos no formato RINEX.

- Emprega observações não-diferenciadas:

O modelo de ajustamento é baseado em observações não-diferenciadas. As principais vantagens são a independência de intervalos no conjunto de dados observados e a capacidade de modelar, por exemplo, os atrasos ionosféricos e troposféricos.

- Ajustamento de estações:

O programa não é limitado para o processamento de uma única linha de base. Ele permite o ajustamento simultâneo de estações estáticas e cinemáticas.

•Ajustamento Simultâneo:

O modelo matemático permite o ajustamento de todas as observáveis do sistema GPS (p.ex., medidas da fase das portadoras L_1 , L_2) bem como as medidas das pseudodistâncias dos códigos P e C/A. O modelo paramétrico estima simultaneamente os parâmetros. O ajustamento simultâneo de medidas de simples e dupla frequência proporciona as correções ionosféricas para os receptores de simples frequência. Atualmente, uma nova opção (opção +X) permite o ajustamento rigoroso e simultâneo das portadoras L_1 e L_2 . Segundo testes desenvolvidos pelo *IfE*, com a constelação completa obteve-se uma taxa de 55% de sucesso para a resolução das ambigüidades com somente três épocas, e, 90%, para 30 épocas de observação (SEEBER et al., 1995).

•Otimização do algoritmo de procura e fixação das ambigüidades:

Diferentes estratégias de procura e fixação permitem um processo de ajustamento flexível, mesmo para um conjunto de dados críticos. Com o ajustamento simultâneo da fase das portadoras, ter-se-á, com o processo automático da *Wide-* e *Extra-Wide Lane*, um ótimo desempenho para esta procura e fixação das ambigüidades.

Na figura 08, tem-se a reprodução do fluxograma do GEONAP. A seguir, será feita uma análise dos principais módulos componentes desse pacote de programas.

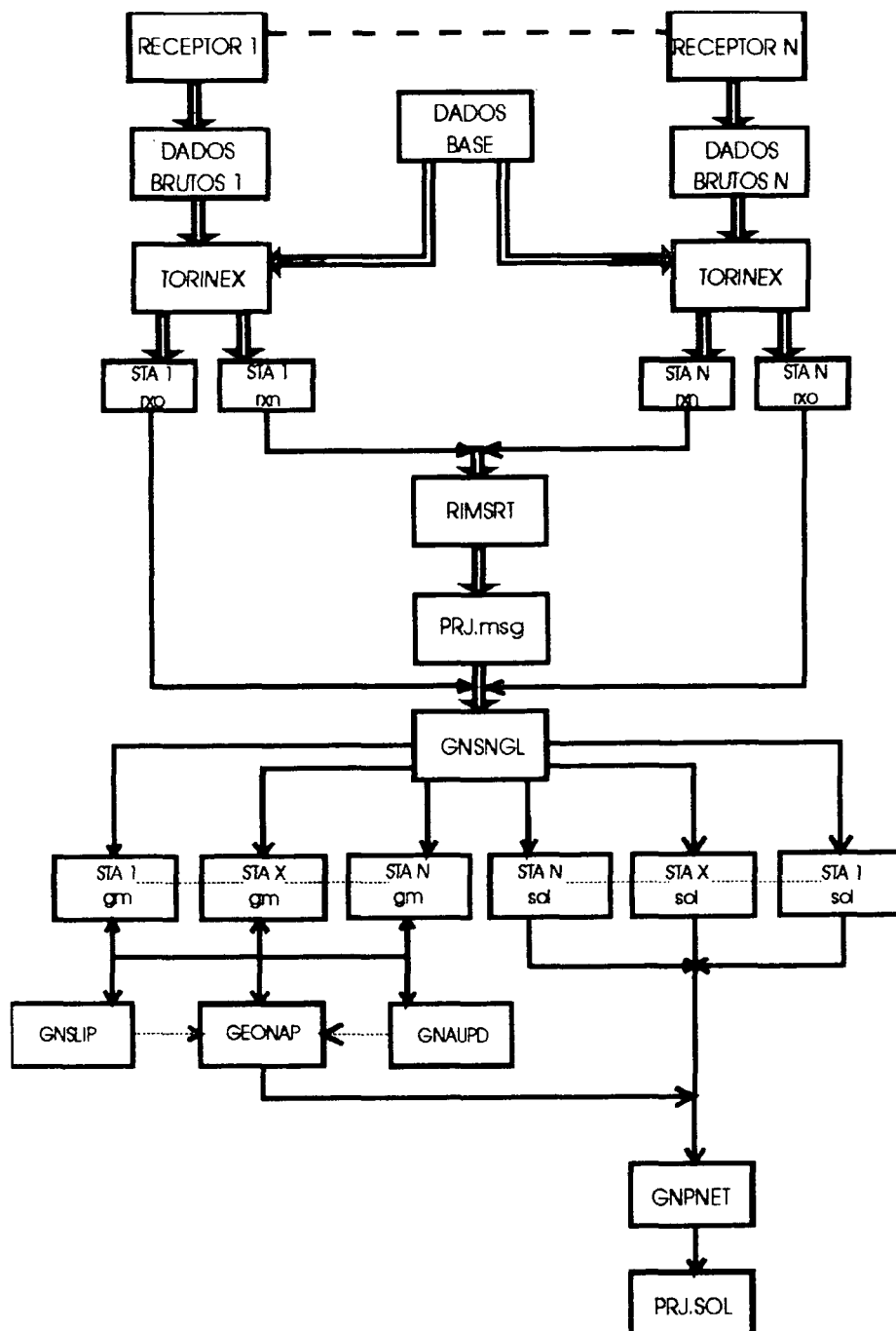
Inicialmente, os dados brutos são transformados num formato padrão chamado RINEX (*Receiver INdependent EXchange format*) (consultar GURTNER, 1989). Dessa forma, pode-se trabalhar com diferentes tipos de receptores (p.ex. *Trimble*, *Ashtech*) e transformar os dados brutos que estão em forma binária para um formato padrão (ASC II). O armazenamento desses dados em RINEX resulta em valor da época de observação. Por época, compreende-se aqui um instante, idêntico para todos os satélites, em que os diferentes sinais dos satélites são recebidos. As grandezas definidas em um arquivo RINEX são a pseudodistância, a fase da portadora e a dupla frequência. Antes da transformação dos dados brutos neste formato, é necessário elaborar pelo menos quatro arquivos com os dados básicos do projeto. Esses arquivos são representados por:

- dados dependentes do receptor (tipo, n° de série...);
- dados dependentes da antena (tipo, n° de série, centro de fase...);
- coordenadas das estações (coordenadas aproximadas); e

- informações sobre as observações.

FIGURA 08 - FLUXOGRAMA GEONAP

(Fonte: GEONAP, 1992)



Estando com esses arquivos à disposição inicia-se o pré-processamento. Essa fase compreende a transformação dos dados, utilizando-se os programas TORINEX (para diferentes tipos de receptores) ou TITORI (para receptor Texas TI 4100) e ou TRTORI (para

receptores Trimble). Obtêm-se dois tipos de arquivo nesta transformação: o das observações e o de navegação. O primeiro contém informações sobre os valores medidos para as épocas, e o segundo, as efemérides obtidas dos satélites. Estão no formato ASC II e podem ser lidos em um editor de texto. O segundo passo consiste na aplicação do módulo RIMSRT (*RInex Message SoRT*). Esse serve para preparar os dados das órbitas dos satélites. Todos os dados de navegação de uma sessão serão verificados, sorteados, e, se iguais, serão eliminados, sendo posteriormente escritos num arquivo binário próprio.

Após concluída a preparação dos dados brutos, passa-se para o processamento com o GEONAP. Essa fase é composta de dois estágios. O primeiro refere-se ao módulo GNSNGL (*Geodetic NAVSTAR SiNGLe*), o qual consiste na obtenção da solução para uma estação isolada. Baseia-se nas observações de cada estação, assim como no arquivo de dados de navegação. Permite o cálculo da posição da antena para observações coletadas no modo estático e cinemático. No âmbito cinemático, novas coordenadas são estimadas para cada época de observações. Ainda, obtêm-se, com esse módulo, as correções para os vários erros (p.ex., rotação terrestre, centro de fase, troposfera, ionosfera, efeitos relativísticos e outros). Antes de os dados passarem pelo filtro de posição, realiza-se uma pré-filtragem na qual os códigos são suavizados pelas portadoras (*carrier smoothed pseudoranges*).

O segundo módulo dessa fase refere-se ao programa principal Geonap. Nesse, são estimados os valores das sessões sobre o emprego da combinação linear das portadoras L_1 e L_2 para a resolução das ambigüidades e posterior fixação, bem como os parâmetros modelados. O usuário fica limitado apenas pela capacidade de seu computador na solução do problema. Uma série de rotinas faz parte do programa Geonap. Essas auxiliam no módulo principal para a obtenção e representação dos resultados. Os três módulos mais importantes são o GNSLIP (*Geodetic NAVSTAR Cycle SLIP*), o GNAUPD (*Geodetic NAVSTAR Ambiguity UPDate*) e o GNPNET (*Geodetic NAVSTAR Positioning NETwork*). O módulo GNSLIP é uma preparação para a utilização do programa principal Geonap. Com esse, realiza-se a determinação das perdas de sinais. O GNAUPD, por sua vez, permite a atualização e melhoria dos arquivos GM, após a execução do módulo principal Geonap. O módulo GNPNET utiliza todas as soluções das sessões no ajustamento dos dados. O resultado é uma lista com as coordenadas das estações, bem como os elementos componentes da matriz variância/covariância. Cada um

desses módulos é composto de várias opções, que permitem tratar os dados conforme as necessidades.²⁰

2.8.2 PRISM

O programa GPS comercial PRISM IITM (*Ashtech Precision GPS Surveying Software*) permite a preparação dos dados brutos, o processamento e o ajustamento deles. Inicialmente, procede-se à transferência dos dados do receptor para o computador através do subprograma HOSE; posteriormente, introduz-se por exemplo a altura da antena, a máscara de elevação, e a estação de referência. É possível trabalhar com dados estáticos, pseudocinemáticos, estáticos rápidos e cinemáticos, além de permitir realizar um processamento automático ou manual. Esse módulo permite a visualização gráfica ou tabular da qualidade dos resultados. Para aplicações em navegação precisa, deve-se recorrer ao módulo PNAV, o qual combina os dados de dupla-frequência e aplica a técnica OTF. Com os módulos FILLNET e SNAP, pode-se realizar o ajustamento da rede para as linhas de base levantadas. Esse programa ainda apresenta outros módulos auxiliares para transformações, assim como sistema de projeções. Para maiores detalhes consultar manual técnico do programa PRISM IITM (1994).

2.8.3 COMPASS

Esse é um programa GPS utilizado para a determinação, em tempo real, da posição (3D) (pseudodistâncias suavizadas pelas portadoras), velocidade (3D) (medida "doppler" da portadora), atitude (3D) (fase da portadora) e do tempo, da plataforma em movimento. Ele foi desenvolvido pela empresa *Geo++ GmbH*.

No COMPASS são utilizadas as medidas dos dados brutos de códigos e da fase das portadoras, obtidas por dois ou mais receptores GPS de precisão.

A velocidade é determinada em um filtro de grau $(4 + n_{sv})$, utilizando-se medidas "doppler" dos sinais das portadoras. Por sua vez, o processo de estimação da posição e do tempo é realizado com as pseudodistâncias dos códigos suavizados pelas portadoras em um Filtro Kalman de grau $(4 + n_{sv})$.²¹ Ambos os filtros podem ser aplicados melhorando a altitude,

²⁰ Para maiores detalhes sobre este programa, consultar WÜBBENA (1988,1989,1991a) e SEEGER et al., (1995).

²¹ Sendo n_{sv} igual ao número de satélites observados.

o que permite fixar a altitude elipsoidal para valores calculados, aproximadamente conhecidos, da altura da antena sobre a superfície do mar. Essa altitude proporciona a posição com precisão no caso de o SA estar ativado e de não haver mais de 4 satélites visíveis. A atitude de uma plataforma em movimento é calculada com um filtro Kalman de multiestado, com parâmetros para coordenadas relativas da antena, *offsets* dos relógios e ambigüidades da fase das portadoras. Um processo otimizado de procura das ambigüidades permite fixar as ambigüidades inteiras após curtos tempos de integração. As informações sobre a atitude são mantidas enquanto houver a recepção do sinal da fase da portadora de 3 ou mais satélites. A precisão dos ângulos de orientação está dentro de um intervalo de poucos miliradianos ($0,1^\circ$ a $0,2^\circ$) a décimos de miliradianos ($0,01^\circ$ a $0,02^\circ$). Para maiores detalhes consultar manual técnico da empresa *Geo++ GmbH*.

2.8.4 GNRT

Este é um programa GPS que possibilita a determinação da posição em tempo real, através da combinação dos dados brutos da estação móvel com as correções transmitidas pela estação de referência. Ele é flexível (independe do *hardware* dos receptores) e trabalha dentro do sistema OS-2. Como trabalha em padrões standardizados (RTCM, NMEA, RINEX), é possível a sua integração com outros programas (p.ex. HYMAS e SEADAT) e a sua utilização em estações de referência (p.ex. Secretaria de Geodésia e Levantamento da Alemanha). É um programa também desenvolvido pela empresa *Geo++ GmbH* e apresenta três diferentes concepções, cujas diferenças se baseiam em quem envia as correções (estação de referência ou móvel). Na primeira concepção as correções são enviadas da estação de referência para as estações móveis. Estas últimas recebem essas correções e aplicam-as para a determinação da posição. Na segunda concepção, tem-se a situação inversa, ou seja, as estações móveis enviam as observações a uma estação de referência. Na terceira concepção, as duas estações estão em movimento; com essa concepção, obtém-se um posicionamento relativo com precisão métrica.

Na estação base, o programa trabalha em tempo real. As correções são codificadas no formato otimizado RTCM++ (ver seção 3.4.1) e transferidas na forma serial. Na estação móvel é instalado um programa para o posicionamento RTDGPS. As correções e as observações são aplicadas utilizando-se um filtro de otimização da posição. A precisão alcançada em tempo real encontra-se na ordem submétrica, estando na dependência do receptor empregado.

Encontra-se dentro desse programa uma expansão de grande aplicação nos levantamentos cinemáticos de alta precisão em tempo real, que é o módulo GNRT-K. Nesse, tem-se tanto a estação móvel quanto a de referência equipadas para a transferência das correções no formato RTCM++. O GNRT-K apresenta as possibilidades de ambas as estações trabalharem com a fase das portadoras L_1 e L_2 , de resolverem as ambigüidades em tempo real (OTW) e ainda de avisarem em tempo real quando essas foram resolvidas. A precisão alcançada em tempo real com o módulo GNRT-K é da ordem subcentimétrica, segundo documento da *Geo++ GmbH*.²²

2.8.5 HYMAS

O HYMAS (*HYdrographisches Meß-und AuswerteSystem*) é um programa de orientação hidrográfica desenvolvido pela *Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)*, com o objetivo de auxiliar no controle de qualidade dos dados hidrográficos e de explorá-los em tempo real. O sistema de orientação HYMAS controla os sensores associados em suas funções e precisões. O usuário, através de seu monitor, detecta imediatamente quando há a realização de uma falsa função; e quando há a execução de um levantamento, o registro dos dados é interrompido automaticamente. O programa permite ao usuário o conhecimento das coordenadas atuais e da distância percorrida.

Na seção 4.5 ver-se-á o problema de sincronismo que há entre os sistemas GPS e ecobatimétrico. Com o HYMAS, tem-se um relógio calculador que, através de um programa com o tempo GPS, permite um sincronismo com uma precisão de 0,03 segundos entre estes sistemas. Ainda há a condição de efetuar um controle do levantamento da profundidade, o qual se dá em dois estágios distintos. No primeiro, detecta-se um erro grosseiro no levantamento e, no segundo estágio, um pequeno desvio é descoberto e eliminado através do modelo Gauss-Markov.²³

²² Para maiores detalhes ver na documentação técnica a respeito deste programa (*Documentação GNRT - Geo++ GmbH - 1995*) e WÜBBENA and SEEGER (1995).

²³ Para maiores detalhes consultar WIRTH (1995).

2.8.6 HYPACK

O HYPACK é um programa comercial, desenvolvido pela *Coastal Oceanographics, Inc.*, para "windows". Tem como objetivo principal auxiliar nos levantamentos hidrográficos, permitindo a entrada simultânea de dados coletados por diferentes sensores (por exemplo: ecobatímetro, GPS, medidor de vazão e correntes). Ele é composto de módulos, dentre esses, pode-se citar: planejamento, levantamento, edição, volumes, modelos e o CAD.

O planejamento permite ao usuário rever graficamente os dados levantados ou criar novas linhas, as quais podem ser paralelas, radiais, ou perpendiculares aos *offsets*. Com o módulo levantamento pode-se ter a entrada de nove sensores para coleta dos dados simultaneamente. Ainda existe a possibilidade de acompanhar, em tempo real, a posição do barco na área em questão, os perfis, as informações levantadas, o ecograma, e outros.

A edição é um módulo de grande valia para o usuário desse programa. O principal editor proporciona uma interface gráfica que pode editar as linhas levantadas, os perfis de sondagem, e, simultaneamente, os dados em texto. É possível ainda aplicar correções quanto às marés, às correntes, à arfagem, à guinada, ao rolamento e à velocidade do som. As sondagens podem ser sorteadas para impedir a sobreposição durante a plotagem. Esse programa permite o cálculo de volumes por diversos métodos computacionais, incluindo área média, prismoidal, contornos e modelos TIN. O modelo TIN permite ao usuário criar um modelo de rede triangular irregular (*Triangulated Irregular Network Models - TINs*) para dados hidrográficos e topográficos. Também pode-se calcular os volumes em canais, em contínua mudança de dimensões. Todos esses volumes podem ser plotados, impressos ou tabulados. O HYPACK pode efetuar a transferência de dados hidrográficos para sistemas *AutoCad* e *Intergraph*. Permite total exportação de linhas levantadas, sondagens, linhas e áreas digitalizadas, bóias, seções de perfis transversais, contornos em duas e três dimensões e modelos TIN. Esse programa ainda conta com programas geodésicos para auxiliar o usuário, com verificações estatísticas que podem ser calculadas e mostradas a ele graficamente.²⁴

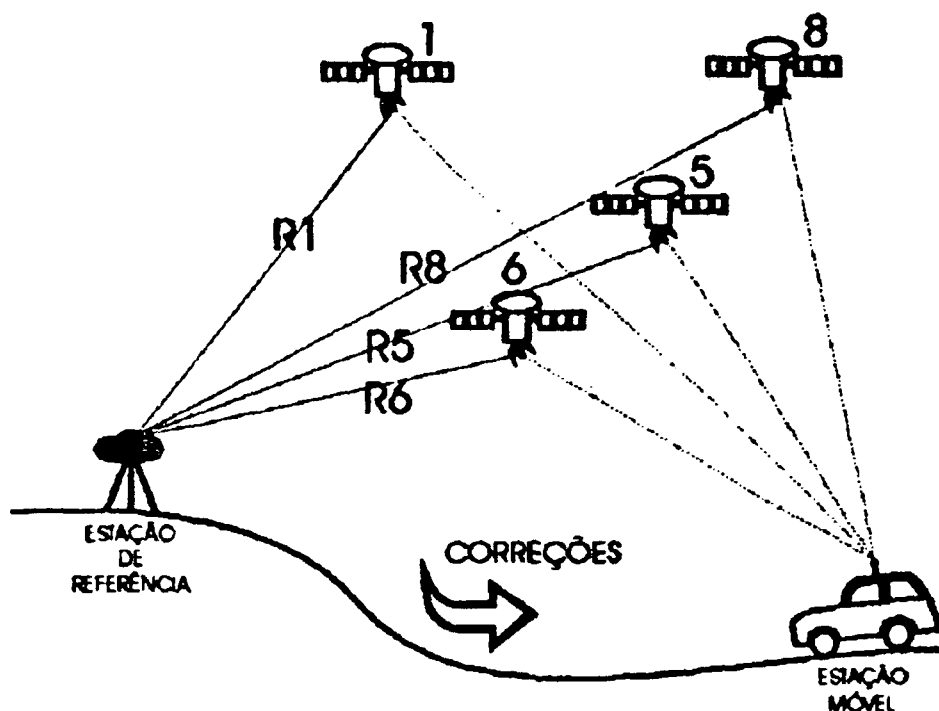
²⁴ Para maiores informações ver documentação técnica a respeito deste programa (*Documentação HYPACK™ for Windows - Coastal Oceanographics, Inc. - 1995*).

3. SISTEMAS DGPS E PDGPS

3.1 PRINCÍPIO DGPS E RTDGPS

O princípio do GPS Diferencial (DGPS) pode ser observado na figura 09. Consiste no posicionamento de uma estação móvel através das correções geradas na estação de referência. Essas correções são enviadas em tempo real por meio de um sistema de comunicação (rádio de transmissão, linha telefônica, ou satélites de comunicação) e dentro de um formato apropriado, definido pela *Radio Technical Committee for Maritime Service (RTCM)*.

FIGURA 09 - SISTEMA DGPS



Para realizar um levantamento com o sistema diferencial, são necessários pelo menos dois receptores. Posiciona-se um deles sobre um ponto de coordenadas conhecidas, o qual representa a estação de referência onde são geradas as correções. O outro receptor é posicionado sobre o móvel em que se deseja navegar, chamado, a partir daí, de "estação móvel". As correções citadas anteriormente referem-se a correções das posições ou das pseudodistâncias. Utilizam-se estas últimas por serem elas mais flexíveis, havendo necessidade apenas da constelação de satélites GPS da estação móvel ser uma subconstelação de satélites GPS da estação de referência. As correções consistem na diferença entre as pseudodistâncias

verdadeiras e calculadas para cada um dos satélites na estação de referência. As equações de observação estão indicadas na seção 2.3.2.

A aplicação desse sistema diferencial possibilita uma minimização da influência dos erros do relógio do satélite, das efemérides e da propagação do sinal na atmosfera. Se esses erros forem os mesmos para as estações de referência e móvel, pode-se dizer, que eles serão eliminados pelas correções. As grandezas observadas nesse sistema são a fase do código e/ou a fase do código suavizada pela portadora.

Segundo HEIMBERG and SEEGER (1993), a precisão obtida nesse sistema com a utilização da observação da fase do código encontra-se na ordem de 1 a 3 m; para observações da fase do código suavizada pela portadora, é possível obter uma precisão submétrica, conforme se observa na figura 02.

A precisão obtida com esse sistema ainda pode ser influenciada por alguns fatores particulares, como a distância entre a estação de referência e a móvel, bem como a qualidade do sistema de comunicação. Esses fatores são analisados a seguir:

- Distância entre a Estação de Referência e a Móvel:

Com o aumento da distância entre as estações, verifica-se que as condições atmosféricas que atuam em cada estação, bem como a influência dos erros do satélite (principalmente o erro de órbita) são distintas. Com isso, as correções geradas na estação de referência eliminam parte dos erros na estação móvel. Segundo WÜBBENA and BAGGE (1995), o erro dependente da distância entre as estações pode ser da ordem de 1 a 10 ppm.

- Qualidade do Sistema de Comunicação:

A transmissão das correções da estação de referência para a móvel deve ser feita de forma a garantir a integridade das correções e seguindo as normas estabelecidas pelo Comitê Especial SC 104. É necessário observar em qual faixa de frequência se dá essa comunicação, analisando as suas vantagens e desvantagens. É possível trabalhar com estações repetidoras, ao longo do percurso ou com uma rede de estações de referência assegurando a transmissão destas correções aos usuários do sistema. Um exemplo dessa rede de estações de referências é citado por MÜLLER (1995): até o final do ano de 1996, estarão em funcionamento 60 dessas estações na linha costeira americana. Trata-se de um sistema desenvolvido pela guarda costeira dos EUA. As correções serão enviadas por um sistema de rádio faróis (*radio beacons*), e a

precisão alcançada no posicionamento para estações móveis distantes da estação de referência até 180 km será de 1 a 2 metros. No Brasil, conforme descrito na seção 2.7, está em desenvolvimento pela DHN um sistema de radiofaróis marítimos para a transmissão de correções às embarcações.

O DGPS possibilita uma obtenção da posição da estação móvel em tempo real (RTDGPS). No âmbito da navegação, interessa trabalhar com esse sistema; então, é necessário observar mais alguns fatores de grande importância na obtenção da precisão, quais sejam:

- cálculo das correções;
- taxa de atualização dos dados; e
- transferência dos dados.

Na sequência apresenta-se uma descrição sobre esses fatores.

- Cálculo das correções

Depende essencialmente da precisão das coordenadas da estação de referência, do erro das medidas (receptor), do programa que calcula essas correções e do local em que está instalada a antena. A precisão dessas correções para uma condição ótima é inferior a 20 cm (WIRTH, 1995). A condição ótima significa que: o receptor utilizado na estação de referência é de alta precisão (de dupla frequência com 9 a 12 canais paralelos e com a técnica de minimização dos ruídos); as coordenadas da estação de referência apresentam uma precisão no sistema de referência adotado (p.ex. centimétrica no *WGS84* (ION, 1996)); é empregado um programa de confiança para a determinação e o controle das correções; a antena está instalada numa posição livre de influências do efeito multicaminho.

- Taxa de atualização dos dados

A influência dos erros temporais sujeita ao efeito do SA (sobre taxa de 30 s), não sujeita a modificações lineares depende da qualidade das correções e também da idade desses dados (WIRTH, 1995). Na tabela 07, observa-se o grau de precisão no posicionamento horizontal (com um nível de probabilidade de 95%) perante a idade das correções para os receptores *Trimble 4000 SSE* (WIRTH, 1995). Então, para se obter uma precisão submétrica, é desejável uma taxa de transferência de dados de 1 a 2 segundos.

TABELA 07 - PRECISÃO HORIZONTAL EM FUNÇÃO DA IDADE DAS CORREÇÕES

<i>IDADE DAS CORREÇÕES</i>	<i>PRECISÃO NO POSICIONAMENTO HORIZONTAL</i>
5 s	1 m
10 s	2,5 m
15 s	4,5 m
20 s	7,5 m
25 s	12 m

- Transferência de dados

Esse fator desempenha um papel de extrema importância para o sistema DGPS em tempo real e tem sido estudado por vários usuários do sistema. Na seção 3.3, observam-se os serviços existentes, para o sistema DGPS, e os planos para o futuro. Por exemplo, a Cooperação das Secretarias de Geodésia e Levantamentos dos Estados na Alemanha- *AdV* - planeja que as correções sejam transmitidas através de rádio de transmissão utilizando as frequências LF (longa), MF (média) e a UHF (curtíssima) e através do formato RTCM 2.0, garantindo, ao usuário, uma obtenção da sua posição em tempo real e com baixo custo.

3.2 PRINCÍPIOS PDGPS E RTPDGPS

O DGPS Preciso, também conhecido por "diferencial preciso", segue o mesmo princípio do sistema DGPS, com exceção do tipo de observável utilizada. Esse sistema utiliza a medida da fase da portadora que conduzirá a uma precisão subdecimétrica ou melhor que esta (ver figura 11), visto que a fase da portadora possui pouco ruído (de 0,5 a 5 mm) (ver tabela 03). Na figura 05, foi representado o princípio do sistema utilizando-se a medida da fase da portadora; e, na seção 2.3.2, a modelagem matemática para o sistema.

A determinação das ambigüidades para o emprego cinemático terrestre é feita, por exemplo através de um método estático, pela inicialização em uma base de coordenadas conhecidas ou pelo intercâmbio de antenas. Trata-se de métodos que não se aplicam em todos os tipos de levantamento, como, por exemplo, nos levantamentos no âmbito marinho. Neste caso, é necessária a resolução das ambigüidades durante o levantamento, através de um

algoritmo próprio, técnica essa denominada de *On the Way - OTW*- (SEEBER and WÜBBENA 1989). Esses algoritmos foram desenvolvidos recentemente; no momento, vários programas contêm diferentes algoritmos buscando obter a melhor solução para as ambigüidades. Com a utilização desses algoritmos, sempre permanecem algumas questões com relação ao número de épocas necessárias para recuperar as ambigüidades após uma perda de sinal, bem como à veracidade das soluções obtidas, e qual a máxima distância entre as estações.²⁵

O *Institut für Erdmessung* tem realizado pesquisas sobre esses fatores, procedendo a uma análise dos dados em tempo real e em pós-processamento com o programa GEONAP, utilizando a opção +X (ver seção 2.8.1). Os primeiros resultados (para uma distância máxima de 4 km) mostram que, com mais de 8 satélites, a resolução das ambigüidades é possível somente para 5 épocas. Com um decréscimo no número de satélites há um decréscimo na taxa de sucesso. Novos testes foram realizados com o barco WEGA (VWFS); seus resultados preliminares indicam que a resolução das ambigüidades é possível para distâncias de 20 km com dados a cada 5 segundos. Para distâncias entre 40 e 60 km, os primeiros resultados de sucesso para a solução das ambigüidades foram obtidos com 120 épocas com dados a cada segundo (SEEBER et al., 1995).

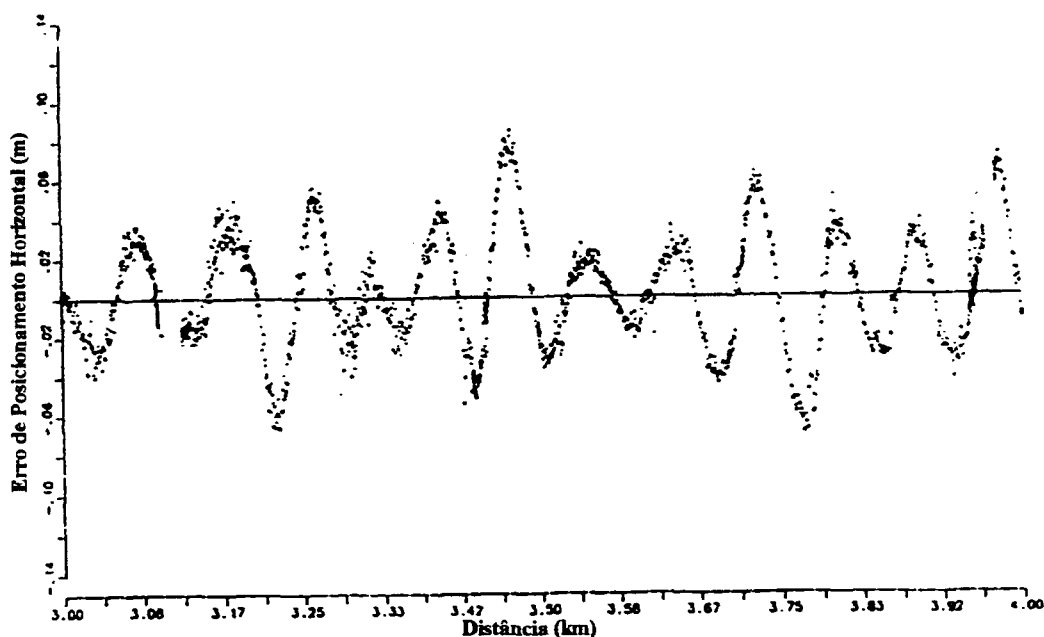
Atualmente, o principal problema no PDGPS consiste na comunicação dos dados, pois a transmissão e o alcance dependem da distância entre as estações. Também o efeito da ionosfera, que é problemático quando estamos na época e na região de maior influência (WANNINGER, 1994), deve ser considerado. A maioria dos algoritmos de resolução rápida das ambigüidades aceitam que a influência da ionosfera e os efeitos dos outros erros sistemáticos são idênticos para ambas as estações, quando não muito distantes entre si. No sistema PDGPS, utiliza-se o formato RTCM 2.1 para a transmissão dos dados, conforme item 3.4.

Segundo WÜBBENA and BAGGE (1995), com o PDGPS é possível obter uma precisão subcentimétrica em condições particulares (p.ex.: distâncias curtas, troposfera). Tal afirmação baseia-se na figura 10, que representa o erro de posicionamento horizontal para um mesmo levantamento (trajetória percorrida na ida e volta). Observa-se a perfeita concordância entre as curvas. Também fica demonstrada a capacidade do método PDGPS frente aos dados pós-processados.

²⁵ Esse assunto está detalhado na seção 2.5.

FIGURA 10 - ERRO DE POSICIONAMENTO HORIZONTAL PARA UMA MESMA TRAJETÓRIA

(Fonte: WÜBBENA and BAGGE, 1995)



A Cooperação das Secretarias de Geodésia e Levantamentos dos Estados na Alemanha (*AdV*), dentro do seu projeto, prevê, para o serviço RTPDGPS, a utilização do formato RTCM 2.1 para as correções, sendo essas transmitidas em 2 m de banda (tabela 08). Emprega-se também o formato RTCM_AdV (compactado) (HANKEMEIER, 1995).

Segundo SEEBER and SCHMITZ (1995), a resolução das ambigüidades, contará futuramente com novos desenvolvimentos:

- a suavização da fase da portadora será refinada com um método de filtragem possibilitando uma precisão operacional submétrica. A vantagem consistirá na possibilidade de operar com grandes distâncias entre as estações, sendo mais fácil efetuar a transmissão das correções;
- os algoritmos de resolução das ambigüidades serão mais rápidos e seguros, possibilitando a solução após 1 ou 2 épocas. Permanecerá, porém, a problemática no que se refere ao alcance e transferência dos dados.

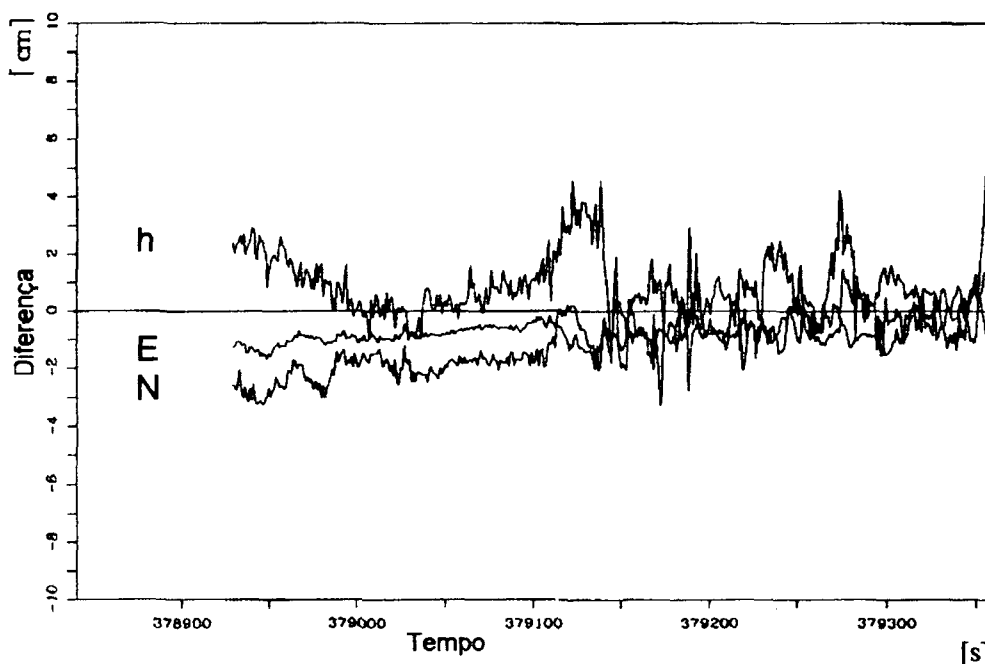
Atualmente, esse sistema também está sendo empregado em tempo real (RTPDGPS). A empresa *Geo++ GmbH* desenvolveu o formato RTCM++ para a transferência dos dados.²⁶ Para se obter uma precisão subcentimétrica no posicionamento, com a utilização, em tempo

²⁶ Conforme 3.4.1.

real, do PDGPS, é necessário o emprego de um moderno programa, o *GNRT*, comentado no item 3.8.4.²⁷

Na figura 11, observa-se um exemplo de alta precisão na navegação, utilizando-se o GPS em tempo real. Trata-se da diferença entre a determinação da trajetória para uma viagem experimental utilizando um *Trimble* opção RTK (*GPS Total Station*) e a solução obtida no pós-processamento com o *GEONAP* para um receptor *Ashtech Z-12*. As posições estão igualadas, pois ambos os receptores estão conectados à mesma antena (movimento *Zero-Baseline*). As diferenças obtidas para uma distância até cerca de 500 m são menores que 5 cm, e a inicialização das ambigüidades necessita de aproximadamente 2 minutos.²⁸

FIGURA 11 - DIFERENÇAS ENTRE TRAJETÓRIAS OBTIDAS EM RTK E NO PÓS-PROCESSAMENTO COM O GEONAP
(Fonte: SEEBER and SCHMITZ, 1995)



3.3 SERVIÇOS

Atualmente, existem serviços GPS de livre acesso e/ou com fins comerciais que, de forma geral, colocam à disposição do usuário diferentes informações sobre o sistema GPS, bem como as correções DGPS. Tais informações são de grande valia para os usuários e,

²⁷ Segundo WÜBBENA and BAGGE (1995).

²⁸ Este trabalho é apresentado por SEEBER and SCHMITZ (1995).

principalmente, para os que aplicam o sistema GPS em tempo real. Exemplos desses serviços são o serviço de informações e o serviço de órbita GPS. O primeiro é um serviço de informações mais amplo (p.ex. análise da geometria e visibilidade, status). Um exemplo de fornecedor dessas informações aos usuários é o *GIBS (GPS - Informations- und Beobachtungssystem)* do Instituto de Geodésia Aplicada (*IfAG* - Alemanha). O segundo serviço é mais científico, e é fornecido pelo *International GPS Service for Geodynamics - IGS*. Nas redes básicas e no controle de redes geodinâmicas, os dados precisos de órbita representam um papel importante. Na Alemanha, o *IfAG* mantém este tipo de serviço.

SERVIÇOS DGPS

Com a entrada do sistema DGPS em diversas aplicações (por exemplo: na Hidrografia), tornou-se necessário o desenvolvimento de um serviço DGPS através do qual as correções possam estar ao dispor dos usuários, melhorando a precisão dos levantamentos. Para a transferência dos dados da estação de referência para os usuários, lança-se mão de técnicas de comunicação, que podem ser por sistema de comunicação por satélites (p.ex. *INMARSAT* ver seção 3.5.2), por rádio de transmissão ou por rede telefônica.²⁹ Há outros fatores que devem ser considerados:

- o formato, a codificação e a modulação dos dados;
- a largura da faixa utilizada;
- a frequência de transmissão;
- o alcance; e
- a taxa e a velocidade de transferência dos dados.

Na Alemanha, diferentes serviços DGPS estão em fase experimental, a fim de se obter um sistema regular. Dentre esses serviços, estão:

- o Serviço Hidrográfico Alemão com duas estações de referência (Helgoland e Wustrow), cujas correções são enviadas por frequência marítima de rádio com longo alcance (aproximadamente 200 km), segundo SPN (1993);
- transmissão de ondas longas do Instituto de Geodésia Aplicada (*IfAG*);

²⁹ Ver seção 3.5.

- emissão das correções por meio de rádio através da Secretaria de Geodésia e Levantamentos.³⁰

Tais serviços encontram-se em período experimental e oferecem aos usuários do GPS Diferencial as correções no formato RTCM 2.0.

Ainda está em desenvolvimento, na República Federal da Alemanha, um projeto da Cooperação das Secretarias de Geodésia e Levantamentos dos Estados na Alemanha (*AdV*), que integra serviços DGPS (também para alta precisão) uniformemente em todo seu território. O *AdV* iniciou-se em 1991, com a finalidade de ligar-se com o "*European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89*³¹)". Esse projeto se denomina "*DGPS service of member authorities of the AdV*". Os serviços DGPS são classificados em diferentes áreas: EPS (serviço de posicionamento em tempo real), HEPS (serviço de posicionamento com alta precisão em tempo real), GPPS (serviço de posicionamento com precisão geodésica), GHPS (serviço de posicionamento com alta precisão geodésica). Eles diferem entre si pelos seguintes critérios: obtenção do resultado, o meio de transporte para transmissão dos dados utilizados, a precisão desejada, o número possível de usuários simultâneos e a interface utilizada (ver tabela 08).³²

Na figura 12 pode ser observada a localização das estações de referência para atender aos serviços HEPS.

TABELA 08 - SERVIÇOS DGPS E SEUS CRITÉRIOS DE DIFERENCIAÇÃO
(Fonte: HANKEMEIER, 1995)

SERVIÇO	RESULTADO	MEIO	PRECISÃO	USUÁRIOS	INTERFACE
EPS	TEMPO REAL	RÁDIO	1 - 3 m	∞	RTCM V2.0
		LF, MF, UHF			
HEPS	TEMPO REAL	BANDA 2m	1 - 5 cm	∞	RTCM V2.1
GPPS	PÓS-PROCESSAMENTO (15 MINUTOS)	TELEFONE	1 cm	$n \ll \infty$	RINEX
GHPS	PÓS-PROCESSAMENTO		< 1 cm	∞	RINEX

³⁰ Segundo WÜBBENA and BAGGE (1995) e ILLNER (1994).

³¹ O ETRS89 é a parte européia do ITRF.

³² Para maiores detalhes, consultar HANKEMEIER (1995).

FIGURA 12 - ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA PARA ATENDER AOS SERVIÇOS HEPS
(Fonte: HANKEMEIER, 1995)



Na costa brasileira, está sendo implantado um sistema DGPS pela Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN -; em âmbito continental. Esse serviço ainda está em discussão. Cogita-se, para o futuro, enviar as correções DGPS pelas estações componentes da rede brasileira de monitoramento (RBMC), que pode ser observada na figura 13. Esse plano, no que se refere aos levantamentos a serem executados na costa brasileira, apresenta

dificuldades; sendo os principais: a distância entre a estação de referência e a estação móvel e os efeitos troposféricos.

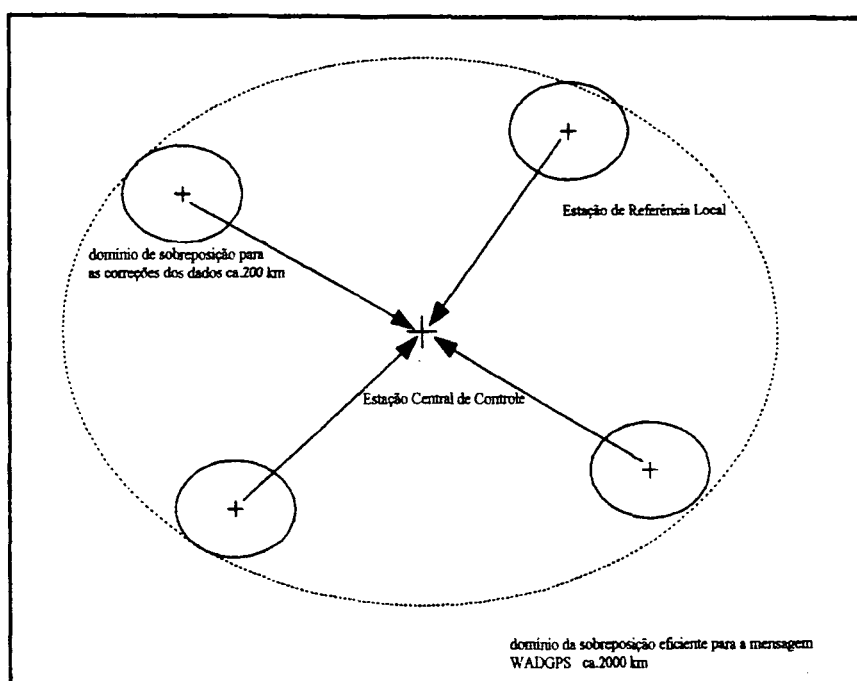
FIGURA 13 - REDE BRASILEIRA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO
(Fonte: CAMPOS et al., 1993)



Como citado anteriormente, é de interesse que as correções dos dados GPS sejam enviadas ao maior número possível de usuários, a longas distâncias e que apresentem boa precisão. A fim de solucionar essas questões, surgiu o *"Wide Area DGPS - WADGPS"*. O WADGPS baseia-se em uma rede de estações de referência e numa estação central de controle. As estações de referência enviam à estação central de controle as correções das pseudodistâncias. Esta, por sua vez, introduz informações adicionais (p.ex.: sobre a troposfera, a ionosfera, a órbita dos satélites), que são de extrema valia para o cálculo das correções no âmbito de longas distâncias (HEIMBERG, 1994). Tal sistema está representado na figura 14.

Esse sistema apresenta a vantagem de cobrir, com poucas estações, grandes regiões, em especial no âmbito marinho. Tem a desvantagem de apresentar um alto custo e demora nos dados, quando comparado com uma estação DGPS (MUELLER, 1994). Segundo SEEGER and SCHMITZ (1995), a precisão alcançada para os serviços DGPS e WADGPS com correções das pseudodistâncias fica no domínio de 1 a 3 metros.

FIGURA 14 - SISTEMA WADGPS
(Fonte: HEIMBERG, 1994)



Conforme a seção 3.1, no processo DGPS é necessária uma frequência com faixa larga para a transferência das informações da fase da portadora, o que limita o seu alcance. Na Alemanha, para a solução desse problema, surgiu um novo projeto que está sendo desenvolvido na região de Niedersachsen pela Secretaria de Geodésia e Levantamentos. O projeto consiste em uma rede de estações permanentes de alta precisão *HPPS* (*Hochpräziser Permanenter Positionierungsservice*), as quais enviam as correções aos usuários através de uma faixa de 2 m, sendo o formato para a transmissão dos dados o RTCM++. Essa rede é desenvolvida para fins de cadastro e GIS. Atualmente, há 4 estações em funcionamento situadas em Hannover, Cuxhaven, Emden e Norderney.

3.4 RTCM - FORMATO PARA A TRANSFERÊNCIA DOS DADOS

Com o desenvolvimento do DGPS, o *U.S. Institute of Navigation (ION)*, em 1983, solicitou à *Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM)* o desenvolvimento de recomendações para a transmissão das correções diferenciais para os usuários do sistema. A *RTCM* fundou o Comitê Especial 104 (SC - 104) com a finalidade de elaborar essas recomendações e critérios. Inicialmente, publicou a versão RTCM 1.0 em 1985. Após experiências operacionais e a constatação de novas necessidades, a comissão realizou modificações, para o formato dos dados e estrutura das mensagens, e obteve a versão 2.0 em janeiro de 1990. O RTCM 2.0 contém correções para as pseudodistâncias e a taxa de transferência das observações aos códigos, bem como as coordenadas da estação de referência, informações sobre a constelação de satélites e a disposição da transferência dos dados. Todas as informações para uma época podem ser acomodadas em 1.200 bits (RTCM v.2.1, 1994).

As recomendações e os critérios elaborados pelo SC - 104 foram amplamente utilizados e aprovados pelos usuários do sistema DGPS, pois proporcionam um canal altamente robusto para as correções. O formato e a taxa de transmissão dessas correções são de extrema importância quando se trabalha com esse sistema. Os fabricantes dos receptores GPS adaptaram os equipamentos de forma a aceitar essas correções diferenciais no formato estabelecido. Por sua vez, as instituições governamentais, na América do Norte e na Europa, passaram a recomendar tal formato.

O conceito DGPS baseou-se inicialmente na medida do código, fornecendo aos usuários uma precisão limitada devido ao seu ruído. Com a expansão do sistema DGPS no âmbito marinho e em outros ramos, os usuários detectaram a importância na utilização das informações da fase da portadora no emprego cinemático, alcançando, dessa forma, uma precisão subdecimétrica. O Comitê Especial 104 da RTCM realizou novos aperfeiçoamentos e adicionou novas mensagens ao RTCM 2.0, publicando em janeiro de 1994, a versão RTCM 2.1. Essa nova versão contém informações adicionais sobre as correções da fase das portadoras L1 e L2, que são de extrema importância para o PDGPS. O conjunto de informações abrange mais de 4.800 bits por época. É fato real que a frequência de transferência é garantida de forma segura apenas para uma velocidade de transferência até 2.400 bits por segundo, conforme WÜBBENA and BAGGE (1995). Devido a esse fator, a empresa *Geo++* desenvolveu o formato RTCM++, o qual apresenta uma estrutura de dados compatível com a versão RTCM 2.1, porém efetua uma redução e compactação desses a fim

- **RTCM 2.1**

Essa versão foi publicada em janeiro de 1994, e o formato da mensagem básica foi mantido. Diversos novos tipos de mensagens foram adicionados para o suporte das aplicações cinemáticas em tempo real (RTK), e alguns tipos de mensagens foram previamente designados como tentativas de serem fixados.

O SC - 104 para essa versão apresenta 26 mensagens definidas dentre os 64 tipos existentes; elas estão relacionadas na tabela 09. Observa-se, ainda, que alguns tipos de mensagens são tentativas (uma foi retirada e nove são reservadas), cujos conteúdos e formas são definidos posteriormente, permitindo uma expansão futura. As principais mensagens serão descritas na seqüência.³³

Mensagem Tipo 1 : Correções Diferenciais GPS

Essa mensagem, definitiva e primária, proporciona as correções das pseudodistâncias (PRC) a serem aplicadas pelos usuários em seus levantamentos. É uma das informações mais importantes que o formato RTCM contém.

Essa mensagem contém as informações para todos os satélites observados na estação de referência; devido a essa variação, o número de palavras na mensagem varia, sendo dado por $(N + 2)$. As informações referem-se ao número de identificação do satélite PRN - *Pseudo Random Noise* -, às correções das pseudodistâncias e à taxa de transmissão das correções. Essa mensagem ainda apresenta o UDRE (erro diferencial de distância) e o IOD (idade dos dados). O primeiro fornece uma estimativa do desvio padrão da incerteza na correção das pseudodistâncias para a estação de referência, e o segundo apresenta o mesmo significado da mensagem de navegação, sendo aqui incluído para garantir que os receptores fixo e móvel utilizem o mesmo conjunto de parâmetros orbitais e do relógio. Ainda é incluído, nessa mensagem, um fator de escala, o qual determina as unidades da pseudodistância e da taxa das correções, assumindo o estado normal ou o estado de alcance prolongado. No estado normal de alta precisão, tem-se, para as pseudodistâncias, unidades de 0,02 m, e para a taxa de alcance de 0,002 m/s e, no estado de alcance prolongado de baixa precisão, unidades de 0,32 m e 0,032 m/s, respectivamente.

As correções das pseudodistâncias num tempo t , utilizando as informações dessa mensagem, podem ser calculadas pela equação (3.1).

³³ Para maiores detalhes ou informações complementares, ver o documento da RTCM 2.1.

$$PRC(t) = PRC(t_0) + [RRC \cdot (t - t_0)] \quad (3.1),$$

onde:

$PRC(t)$: correções das pseudodistâncias no tempo t ,

$PRC(t_0)$: correções das pseudodistâncias no tempo t_0 , e

RRC : taxa de variação das correções da pseudodistância.

A correção de uma pseudodistância corrigida num tempo t é calculada pela equação (3.2):

$$PR(t) = PRM(t) + PRC(t) \quad (3.2),$$

onde:

$PR(t)$: é a pseudodistância corrigida para um tempo t , e

$PRM(t)$: é a pseudodistância medida para um tempo t (pseudodistância geométrica).

Essa mensagem deve ser transmitida tanto quanto for possível, a fim de assegurar correções atuais. Segundo LANGLEY (1994), como a diferença de tempo $(t - t_0)$ cresce, há uma redução na precisão das correções.

Mensagem Tipo 2 : Delta Correções Diferenciais GPS

Esse tipo de mensagem contém diferenças de correções das pseudodistâncias (δPRC) bem como diferenças da taxa de variação das correções (δRRC). Ela só é utilizada se, por algum motivo, a estação móvel não receber as informações atualizadas. Quando o conjunto de dados de efemérides dos satélites e do relógio, na estação móvel, são mais antigo do que o da estação de referência, o usuário passa a ter as pseudodistâncias calculadas com esses dados antigos de navegação, até que a nova mensagem seja recebida, decodificada e implementada.

Mensagem Tipo 3 : Parâmetros da Estação de Referência

Essa mensagem contém as coordenadas GPS da estação de referência num sistema geocêntrico, com precisão o mais alta possível. Normalmente, o "datum" de referência é o WGS-84; contudo, uma instituição pode utilizar outro "datum" e informar aos usuários.

Mensagem Tipo 4 : Parâmetros de Levantamentos

Essa mensagem, antigamente, proporcionava a transmissão da fase da portadora da estação de referência para a estação móvel, obtendo precisão relativa submétrica. Ela passou a ser evitada com a introdução de diversas novas mensagens para o cinemático em tempo real (Mensagens tipo 18 a 21), sendo então retirada.

TABELA 09 - MENSAGENS RTCM 2.1

<i>MENSAGEN N°</i>	<i>ESTADO ATUAL</i>	<i>MENSAGEM</i>
1	FIXADA	CORREÇÕES DIFERENCIAIS GPS
2	FIXADA	CORREÇÕES DIFERENCIAIS GPS DELTA
3	FIXADA	PARÂMETROS DA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA
4	RETIRADA	LEVANTAMENTO
5	TENTATIVA	SAÚDE DA CONSTELAÇÃO
6	FIXADA	QUADRO NULO
7	FIXADA	DADOS DE ALMANAQUE
8	TENTATIVA	DADOS DO PSEUDO-SATÉLITE
9	FIXADA	CONJ. DE CORREÇÕES DIFERENCIAIS
10	RESERVADA	CORREÇÕES DIFERENCIAIS CÓDIGO P
11	RESERVADA	DELTA CORREÇÕES CÓDIGO C/A L ₁ , L ₂
12	RESERVADA	PARÂMETROS DA EST. PSEUDO-SATÉLITE
13	TENTATIVA	PARÂMETROS EST. TRANSFERÊNCIA
14	RESERVADA	MENSAGENS AUXILIARES
15	RESERVADA	MENSAGEM IONOSFERA E TROPOSFERA
16	FIXADA	MENSAGEM ESPECIAL
17	TENTATIVA	DADOS DE EFEMÉRIDES
18	TENTATIVA	MEDIDAS INCORRETAS DA FASE DA PORTADORA
19	TENTATIVA	MEDIDAS INCORRETAS DA PSEUDODISTÂNCIA
20	TENTATIVA	CORREÇÕES RTK DA FASE DA PORTADORA
21	TENTATIVA	CORREÇÕES RTK DA PSEUDODISTÂNCIA
22-58	-	INDEFINIDA
59	TENTATIVA	MENSAGEM PRÓPRIA
60-63	RESERVADA	USO MULTI-FIM

Mensagem Tipo 5 : Saúde da Constelação

Com essa mensagem, o usuário do sistema passa a ter informações sobre a qualidade das observações. Trata-se, aqui, das informações sobre a saúde, a identificação e a relação sinal/ruído dos satélites observáveis pela estação de referência.

Mensagem Tipo 6 : Quadro Nulo

Essa mensagem não contém parâmetros e é utilizada somente como um filtro para proporcionar uma mensagem universal, quando as outras mensagens ainda não estão prontas para serem enviadas da estação de referência, mantendo, dessa forma, uma sincronização do quadro. Contém apenas informações nas duas primeiras palavras.

Mensagem Tipo 7 : Almanaque de Rádio Transmissão

Esse tipo de mensagem contém informações para uma rede de rádio transmissão, proporcionando a identificação, localização, frequência, serviço de alcance e informações sobre a saúde da rádio transmissão. Ainda indica se os dados são transmitidos utilizando uma frequência mínima, sincronizadamente ou não, e se o sistema de correções dos erros *Forward Error Correcting* - FEC - é aplicado. Essa mensagem permite, ao usuário bem equipado, selecionar um ótimo transmissor DGPS para a rede de estações disponíveis.

Mensagem Tipo 9 : Correções Diferenciais para um Conjunto de Satélites

Essa mensagem é similar à mensagem tipo 1 e serve ao mesmo propósito. A diferença consiste no fato de que contém apenas as informações para um subconjunto de satélites rastreados. Possui a vantagem de ser substancialmente menor que a mensagem tipo 1 e, conseqüentemente, tem uma probabilidade maior de ser recebida corretamente pelo usuário. O *U.S. Coast Guard's DGPS Service Broadcast Standard* especifica que as correções serão exclusivamente transmitidas nessa mensagem com cada mensagem tipo 9 para 3 satélites rastreados; logo, uma seqüência dessa mensagem transmitirá correções para todos os satélites observados pela estação de referência.

Mensagem Tipo 15 : Parâmetros Ionosféricos e Troposféricos

Essa mensagem tem sido reservada aos parâmetros a serem definidos para os modelos ionosféricos e troposféricos. O modelo ionosférico pode ser similar ao modelo para o GPS do

ICD - GPS - 200, desde que mais dados sejam levantados. O modelo troposférico pode conter a temperatura, pressão e umidade. Esse tipo de mensagem será de extrema valia para o sistema *WADGPS*.

Mensagem Tipo 16 : Mensagem Especial

Essa é uma mensagem no formato ASC II de 8 bits, a qual pode ser mostrada na tela do computador ou numa impressora. Cada mensagem pode conter 90 caracteres.

Mensagem Tipo 18 a 21 : Mensagens Cinemáticas em Tempo Real

Essas novas mensagens foram introduzidas para atender às aplicações cinemáticas em tempo real de alta precisão. Os dados transmitidos podem ser utilizados na resolução das ambigüidades da fase da portadora para o objeto a ser posicionado (OTW). Verifica-se que a grande vantagem consiste na rápida solução das ambigüidades. Para esse procedimento, é necessário um grande volume de dados e, conseqüentemente, a exigência para a transferência e exploração dos mesmos é alta. As correções da fase da portadora assemelham-se às correções das pseudodistâncias citadas na mensagem 01.

A mensagem tipo 18 proporciona medidas da fase da portadora, ao passo que a tipo 19 proporciona medidas das pseudodistâncias. Os dados nessas mensagens não são corrigidos de quaisquer erros; são essencialmente utilizadas as medidas dos dados brutos efetuadas pelos receptores da estação de referência. As mensagens tipo 20 e 21 contêm as correções da fase da portadora e as medidas das pseudodistâncias, como calculadas pela estação de referência. Essa mensagem 21 é muito similar à do tipo 1, porém contém informações adicionais sobre a qualidade das medidas e pode ser utilizada para os receptores com correlação cruzada.

Sinais apropriados são providenciados para indicar a existência de dados L_1 , L_2 , pseudodistâncias livres dos efeitos ionosféricos ou dados da fase da portadora com diferenças ionosféricas, código C/A ou P, medidas da fase da portadora L_2 com meio comprimento de onda ou onda completa. As mensagens 18 a 21 incluem o tempo GPS do levantamento, o qual é usado no incremento do contador Z. Esses tipos de mensagens também incluem indicadores da qualidade dos dados, indicador de uma perda incorreta do sinal nos dados da fase da portadora, e, de forma opcional, uma estimativa do erro multicaminho da pseudodistância na estação de referência.

As correções da fase da portadora são calculadas utilizando as medidas da fase da portadora efetuada pela estação de referência. São calculadas pela estação de referência segundo a equação (3.3):

$$CPC = PS - MCP \quad (3.3),$$

onde:

CPC : correções da fase da portadora;

PS : predição da distância do satélite em relação à estação de referência (em ciclos da portadora), e

MCP: medida da fase da portadora para o tempo GPS do levantamento.

As correções das portadoras L_1 e L_2 são feitas para o atraso do relógio do receptor situado na estação de referência, mas não para os atrasos provenientes das perturbações ionosféricas e troposféricas. E as diferenças ionosféricas nas correções da fase da portadora são corrigidas para os atrasos do relógio do receptor de referência, mas não para os atrasos troposféricos (RTCM - VERSION 2.1, 1994).

Para o usuário, essas correções da fase da portadora são aplicadas segundo a equação (3.4).

$$CUCP = MUCP + CPC \quad (3.4),$$

onde:

CUCP : fase da portadora corrigida; e

MUCP : fase da portadora medida.

- **RTCM++**

Esta versão foi desenvolvida pela empresa *Geo++GmbH* (Alemanha) e é uma ampliação das versões RTCM 2.0 e 2.1. Ela apresenta as correções da fase das portadoras em formato compactado. Dessa forma não são necessários mais de 2.400 bits para a transmissão completa dos dados do conjunto de satélites observados. Com essa redução, a versão ++ apresenta a vantagem de possibilitar a transmissão dessas correções da fase das portadoras por diferentes frequências. Essa versão é compatível com as citadas anteriormente, sendo que apenas utiliza a mensagem tipo 59. Esse tipo de mensagem, como indicado na tabela 09, é

reservada para mensagens próprias. No presente caso, a mensagem tipo 59 inclui informações completas para a reconstrução das correções da fase das portadoras e das pseudodistâncias na estação móvel. Então, através de um conversor na estação móvel, o usuário tem de forma completa as correções da fase da portadora no formato da RTCM 2.1. As correções dos códigos do formato RTCM 2.0 permanecem inalteradas no formato RTCM++.

O formato RTCM++ tem sido utilizado pelas estações de referência da Secretaria de Geodésia e Levantamentos da República Federal da Alemanha. É possível obter, com essa versão, uma precisão melhor no DGPS sem a utilização da medida da fase das portadoras. Ela tem sido amplamente utilizada nos levantamentos PDGPS em tempo real (RTPDGPS) (ver seção 3.1).³⁴

3.4.2 A TAXA DE TRANSFERÊNCIA DOS DADOS

O padrão *SC - 104* especifica que as mensagens são transmitidas seguramente com uma taxa contínua de transmissão de dados de pelo menos 50 bits por segundo. O *USCG DGPS radiobeacon*, por exemplo, utiliza uma taxa de 100 bps. As mensagens podem ser enviadas em faixas estreitas com uma taxa de transmissão mais elevada (por exemplo: 2.400 bps) e pode ser acompanhada pela comunicação de rádio. As mensagens podem ser armazenadas em pacotes que incluem bits extras. Na recepção, essas mensagens são extraídas dos pacotes e transferidas ao receptor.

Para assegurar a mais alta precisão da posição calculada utilizando correções DGPS, a taxa de transmissão da mensagem tipo 1 deve ser maximizada, e intercalada com as mensagens tipo 2, 3, 5, 7 e 16. Porém, o comprimento da mensagem tipo 1 é função do número de satélites observados. Na tabela 10 pode-se observar, a duração da mensagem tipo 1 em função do número de satélites observados. Atualmente, com a constelação GPS completa, uma estação de referência realiza a observação de 8 satélites, o que significa, segundo a tabela 10, que a mensagem tipo 1 tem uma transmissão com duração de 9,6 segundos.

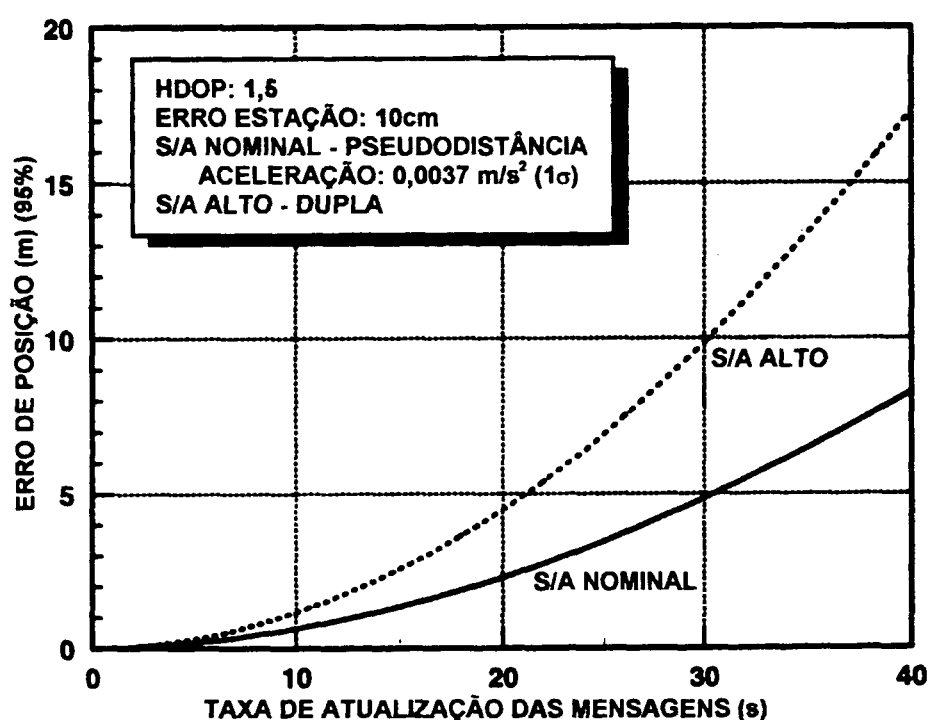
³⁴ Para maiores informações sobre essa versão, consultar WÜBBENA and SEEGER (1995), WÜBBENA and BAGGE (1995), documentos da *Geo++GmbH*.

TABELA 10 - DURAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DOS DADOS PARA A MENSAGEM TIPO 1
(Fonte: HEIMBERG, 1994)

NÚMERO DE SATÉLITES	PALAVRAS	NÚMERO DE BITS	DURAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA (50 bps) em segundos
4	9	270	5.4
5	11	330	6.6
6	12	360	7.2
7	14	420	8.4
8	16	480	9.6
9	17	510	10.2

Com taxas de transmissão apropriadas e mensagens a serem intercaladas a cada minuto e até 5 minutos e assumindo uma taxa de dados de 50 bps, ter-se-á para 4 satélites observáveis e para a mensagem tipo 1 uma taxa média de transmissão de 7 segundos, e, para 11 satélites, de 18 segundos. Com o atual nível do SA, a taxa de transmissão é suficiente para manter um erro de posicionamento menor que 3 metros com um nível de probabilidade de 95%, constante no caso de 11 satélites. Tal análise é efetuada no documento da RTCM 2.1 e na figura 16; observa-se a relação entre erro de posição e a taxa de atualização das mensagens.

FIGURA 16 - ERRO DE POSIÇÃO x TAXA DE ATUALIZAÇÃO
(Fonte: RTCM v.2.1, 1994)



Constata-se que essa precisão não satisfaz algumas aplicações e necessidades dos usuários. A atualização dos dados para o posicionamento cinemático em tempo real, utilizando a resolução das ambigüidades em movimento (OTW), é muito mais alta do que a requerida para o DGPS convencional. Taxas de atualização de 1 Hz ou mais altas são típicas. Para o suporte de tais taxas a transmissão dos dados deve se dar nas faixas VHF ou UHF, onde as taxas de transmissão de 1.200 bps ou maiores são aceitas. Porém, a desvantagem é de que a distância entre a estação de referência e a móvel fica limitada, bem como a confiabilidade no sistema pode ser afetada pelo efeito multicaminho (KRUEGER, 1994).

3.5 SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

No DGPS, visto na seção 3.1, é necessária a comunicação entre as estações de referência e a móvel, a fim de que as correções das pseudodistâncias sejam transmitidas. Essa comunicação pode ser estabelecida através de diferentes formas, como rádios de transmissão, linha telefônica, ou satélites de comunicação, utilizando diferentes partes do espectro eletromagnético. Segundo HEIMBERG (1994), alguns pontos sobre a taxa de transferência dos dados e a distância de alcance desempenham um papel importante na decisão de melhorar o sistema. Dentre estes:

- altas frequências possibilitam uma melhor solução, conduzindo, dessa forma, a uma alta precisão,
 - quanto mais curto for o comprimento de onda, mais elevada é a taxa de dados;
 - a alta taxa de transmissão encontra-se defronte à própria distância de alcance; e
- um sistema de comunicação terrestre com alta frequência e com curto alcance é instalado com custos favoráveis.

O domínio das frequências possíveis de serem utilizadas nesse sistema é observado na tabela 11.

TABELA 11 - DOMÍNIO DAS FREQUÊNCIAS

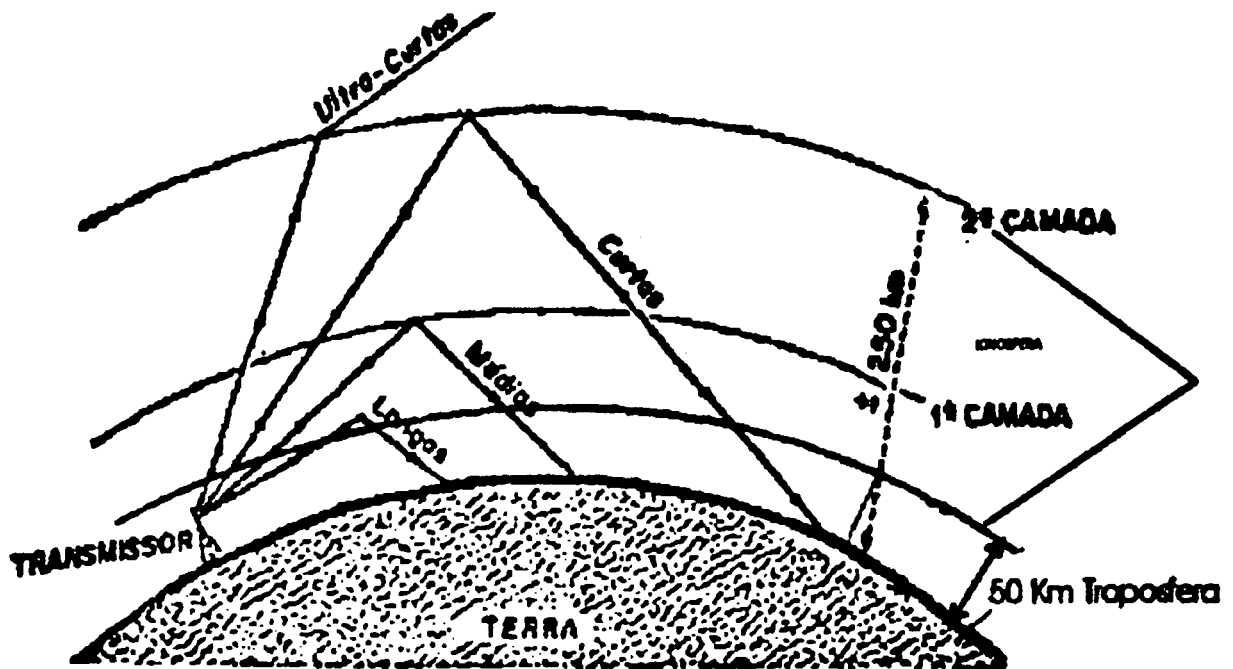
DENOMINAÇÃO	FAIXA	COMPRIMENTO DA ONDA	FREQUÊNCIA
ultra longa	VLF	> 10.000 m	< 30 kHz
longa	LF	1.000 a 10.000 m	30 a 300 kHz
média	MF	100 a 1.000 m	300 a 3.000 kHz
médio-curta	HF	10 a 100 m	3 a 30 MHz
curta	VHF	1 a 10 m	30 a 300 MHz
curtíssima	UHF	10 cm a 1 m	300 a 3.000 MHz
ultra curta	SHF	1 a 10 cm	3 a 30 GHz
micro	EHF	< 1 cm	> 30 GHz

3.5.1 PROPAGAÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS NA ATMOSFERA

Na seção 2.6, apresentou-se uma descrição da constituição da atmosfera e das suas camadas (troposfera e ionosfera). Do exposto, concluiu-se que a troposfera possui uma espessura de 50 km e é eletricamente neutra; logo, a propagação das ondas nesse meio é influenciada pelas condições meteorológicas locais (temperatura seca e úmida, pressão atmosférica e pressão do vapor d'água). A ionosfera apresenta uma espessura de 50 a 1.000 km e é um meio altamente ionizado, permitindo uma canalização para as ondas eletromagnéticas. A ionosfera subdivide-se em duas subcamadas (*Kennelly Heaviside* e *Appleton*), nas quais as ondas eletromagnéticas apresentam diferentes comportamentos na sua propagação. O percurso das ondas será maior (maior absorção e enfraquecimento da onda) ou menor (menor enfraquecimento), em decorrência das variações que essas subcamadas sofrem. A transmissão poderá ser ora forte, ora fraca, chegando, às vezes, a desaparecer completamente e retornando sempre com intensidade variável.

Um esquema da propagação dessas ondas é observado na figura 17.

FIGURA 17 - PROPAGAÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS NA ATMOSFERA



3.5.2 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICA DAS DIFERENTES FREQUÊNCIAS

- **FAIXA DE BAIXA FREQUÊNCIA (LF)**

Essa faixa retorna à terra antes de atingir a primeira subcamada da ionosfera. Logo, o sinal é confiável em presença da atmosfera e não sofre desvios. O único problema é que, nas ondas longas (faixa de frequência de 30 a 300 kHz), a energia propaga-se em ondas terrestres, atenuadas rapidamente pelo fato do solo ser um mau condutor. Logo, não são eficazes para a transmissão a grandes distâncias, a não ser que se utilize muita potência. Apresentam, como desvantagens, a largura da faixa e a técnica, bem como pelo custo financeiro para transmiti-las. Elas podem ser utilizadas para distâncias maiores 150 km sobre a água e para distâncias de 20 a 100 km em terra. A utilização do DGPS fica limitada principalmente pela distância entre as estações, pelo tipo do terreno e pela relação sinal/ruído no sinal do rádio recebido. Na Alemanha, essa faixa está sendo utilizada para os serviços de posicionamento em tempo real, conduzindo a uma precisão de 1 a 3 m (HANKEMEIER, 1995). Por sua vez, a marinha utiliza frequências de 275 a 335 kHz.

- **FAIXA DE MÉDIA FREQUÊNCIA (MF)**

Essa faixa não ultrapassa a primeira subcamada da ionosfera e também retorna a terra. Obtêm-se distâncias entre as estações de 400 km sobre a água e de 50 km sobre a terra. Podem-se alcançar distâncias maiores, ao se utilizar as ondas ionosféricas refratadas, principalmente à noite (> 2.000 km); nesse período, a densidade dos elétrons diminui, permitindo a refração das ondas. Tais ondas são mais suscetíveis ao desaparecimento que as ondas terrestres, além de serem, conseqüentemente, mais propensas a erros na transmissão das correções. Para os usuários do sistema DGPS, o grande problema para essa faixa consiste na disponibilidade dessa frequência, visto que ele contém as estações de rádio AM, assim como diversos sistemas de transmissões aéreas e marítimas. É pouco provável a partição em uma nova frequência para os usuários do sistema DGPS. Porém, essa também está sendo utilizada na Alemanha para os serviços de posicionamento em tempo real com a mesma precisão da faixa anterior.

- **FAIXA DE ALTA FREQUÊNCIA (HF)**

Essa faixa apresenta uma onda média-curta, que ultrapassa a primeira subcamada da ionosfera, penetrando na segunda. A comunicação conta quase que unicamente com ondas refratadas pela ionosfera. Com frequências superiores a 25 MHz, somente distâncias de poucos quilômetros (10 km) podem ser vencidas, enquanto que, para 3 Mhz, alcança-se mais de 100 km. Como esse sinal não se baseia em ondas terrestres, mas sim em ondas ionosféricas, a qualidade da reflexão depende diretamente do grau de ionização, da frequência empregada e do ângulo incidente do sinal. Para uma grande perturbação ionosférica pode até ocorrer o desaparecimento do sinal. Em relação às duas faixas anteriores, apresenta uma qualidade mais favorável para a relação sinal/ruído e ainda, a antena para esta frequência pode ser menor que nos casos anteriores. Os equipamentos comerciais DGPS com rádio operam na região de 2 MHz e são utilizáveis em algumas áreas.

- **FAIXA DE FREQUÊNCIA MUITO ALTA (VHF) E ULTRA-ALTA (UHF)**

Na tabela 11 estão indicadas as frequências e os comprimentos de onda para ambos os casos. A transmissão através dessas faixas ocorre ao longo da linha do horizonte, ou seja, utiliza a onda direta, a qual se propaga em linha reta da antena transmissora para a antena receptora. Dessa forma, essas são limitadas pela linha de visada entre o transmissor e o receptor, pelas condições meteorológicas e pela topografia do terreno.

As equações para o cálculo da distância horizontal podem ser encontradas em KRUEGER (1994) e HEIMBERG (1994).

As tecnologias VHF e UHF apresentam instalações simples e menor custo se comparadas com as faixas anteriormente citadas. Apresentam ainda a vantagem de permitir uma taxa de transmissão de dados na ordem de 1.200, 2.400 ou até mesmo 9.600 bits por segundo. Porém, a confiabilidade do sistema pode ser afetada pelo efeito multicaminho.

Essa faixa de frequência tem o seu uso limitado pelo alcance da onda, em geral, não superior a 50 km (ver figura 18).

No trabalho com longas distâncias, é possível utilizar estações repetidoras ou antenas direcionais para os sistemas VHF ou UHF.

O fato de o sistema ser portátil significa mais uma das suas vantagens. Diversas empresas oferecem, atualmente, rádios com múltiplos canais, que devem ser usados na comunicação DGPS.

3.5.3 COMUNICAÇÃO COM SATÉLITES MÓVEIS

Para a transmissão de dados a longas distâncias, dispõe-se atualmente de satélites móveis. A frequência utilizada faz parte da faixa L, (1GHz a 2 GHz), dentro da qual transmitem os satélites dos sistemas GPS e GLONASS.

O sistema de comunicação com satélites móveis apresenta, como desvantagens o alto custo da transmissão dos dados e a necessidade de uma conexão (p.ex.: linha telefônica) para cada estação de referência. Um sistema global é muito complexo, pois nem o emissor, nem o receptor são sistemas portáteis.

Há previsão de que satélites operando nessa faixa de frequência, possam proporcionar 2.000 canais independentes para comunicações móveis. Atualmente, a transmissão das

correções da estação de referência ao usuário pode ser feita através de um sistema geoestacionário de satélites mantido pela INMARSAT (*International MARitime SATellite Communication Organisation*). De acordo com a forma de comunicação e a transferência dos dados, o INMARSAT apresenta quatro serviços diferentes. Esses são denominados de INMARSAT-A, INMARSAT-B, INMARSAT-C, e INMARSAT-M. O primeiro fornece a comunicação em tempo real em duas direções, utilizando antenas direcionais com aproximadamente 1 m de diâmetro. A taxa para a transmissão dos dados encontra-se entre 2.400 e 9.600 bps. Esses dados não são enviados em grandes blocos, mas em pacotes. Entre a transmissão desses deve haver uma pausa de poucos segundos. O INMARSAT-B é um serviço com as mesmas possibilidades e restrições do anterior, porém baseia-se na técnica digital. O INMARSAT-C recebe a mensagem, armazena e a envia após alguns instantes, utilizando antenas onidirecionais. Contudo, a taxa de transmissão dos dados encontra-se entre 300 e 600 bps.

Também encontra-se em desenvolvimento o sistema IRIDIUM, baseado numa constelação de 66 satélites, orbitando a aproximadamente 680 km da Terra. O primeiro satélite entrará em órbita em 1997, e o sistema estará operacional em 1998. Esses satélites proporcionarão baixo custo e caminhos de ida e volta para a comunicação dos dados, além de utilizar terminais portáteis.

Observa-se a grande tendência de surgirem inúmeros satélites para auxiliar a comunicação no sistema DGPS. Talvez, o usuário DGPS tenha, futuramente, o seu próprio sistema de comunicação. A Alemanha está desenvolvendo, através da AdV, um projeto (HANKEMEIER, 1995) de uniformização dos serviços DGPS para as diversas aplicações, proporcionando uma alta eficiência com uma técnica adequada. Espera-se que, no Brasil, o mesmo venha a ser feito, tentando estabelecer-se faixas adequadas para a transmissão das correções da estação de referência para a móvel, proporcionando levantamentos com maior eficiência e segurança.

3.5.4 OUTROS SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO

Outra alternativa para a contínua transmissão das correções e dados seria através do sistema de rádio. Estes poderiam ser transmitidos paralelamente aos programas de rádio. A técnica é simples e as despesas são insignificantes para a sua realização. A vantagem principal

consiste no fato de que o usuário receberá as informações através de ondas curtas. A desvantagem consiste no fato de que a taxa de dados admissível deve transportar as informações. Dessa forma, estarão disponíveis apenas 100 bps para o sistema DGPS (HEIMBERG, 1994). Para a transmissão das correções das pseudodistâncias, sobre a ação do efeito SA, é necessária uma atualização a cada 5 s, a fim de se obter uma precisão no posicionamento de aproximadamente ± 5 m. Considerando a entrada do DGPS Preciso, será pequena a taxa para a transmissão dos dados, a qual é elevada com a introdução do sistema digital. Nesse sistema, contudo, não se alcançará uma elevação de 100 bps para cerca de 2.400 bps.

Outra possibilidade, ainda, para esse sistema, é a utilização de redes móveis. Ele pode ser construído com o emprego de 2 linhas de telefone móvel (Rede-C, D1-, Rede-D2), combinadas com um MODEM. Através da GMS Padrão (*Global System for Mobile Communication*), é possível o alcance nas fronteiras, principalmente com a entrada das redes digitais, as quais estão sendo construídas por 18 países europeus. Na Alemanha, é utilizada a Rede-D. A desvantagem desse sistema é que apenas um usuário terá acesso ao fluxo de dados.

A precisão depende diretamente da distância entre as estações emissora e receptora. Segundo HEIMBERG (1994), na figura 18, observa-se a dependência em relação aos serviços DGPS.

No âmbito marinho, os serviços DGPS trabalham predominantemente com faixa de média frequência. A precisão alcançada na navegação com o SA está dentro de 5 a 10 metros para distâncias de 200 a 300 km. Uma precisão de 1 a 5 m será alcançada com uma elevação da taxa de atualização das correções para as pseudodistâncias. O sistema de comunicação pode utilizar as faixas VHF, UHF e Banda-L, com uma taxa de transmissão de 1.200 bps ou mais. A exigência para alcançar uma precisão subdecimétrica consiste na elevação desta taxa para 2.400 bps ou mais. Para o DGPS Preciso, os sistemas VHF ou UHF para curtas distâncias não apresenta restrições, porém a relação atmosférica entre as estações de referência e a móvel limitarão a rápida solução das ambigüidades, pressupondo uma distância de até 20 km. Conforme a seção 3.3, há na Alemanha um projeto em desenvolvimento para a padronização dos serviços DGPS. Nele tem-se a utilização das seguintes faixas: LF, MF, UHF, Banda-2 m,

Rádio e Telefone, cuja escolha é em função da precisão que se deseja obter com o respectivo serviço DGPS.³⁵

FIGURA 18 - FREQUÊNCIA x PRECISÃO NO POSICIONAMENTO
(Fonte: HEIMBERG, 1996)

DISTÂNCIA	Precisão Desejada				
	100 m	10 m	10 - 3 m	3 - 1 m	< 10 cm
1000 km	DGPS não necessário	BANDA - L (INMARSAT) 1200 bps	BANDA - L (INMARSAT)	BANDA - L (INMARSAT)	
< 700 km		BANDA - LF ca. 50 bps			
< 300 km		BANDA - MF (BANDA HF) 200 bps	BANDA - MF BANDA HF		
20 - 50 km Sinal de Linha		BANDA VHF / UHF 2400 bps	BANDA VHF / UHF	BANDA VHF / UHF	BANDA VHF / UHF

³⁵ Para maiores detalhes sobre esses sistema de comunicação, consultar LANGLEY (1993), MONTGOMERY (1993), HEIMBERG (1994), KRUEGER (1994), HANKEMEIER (1995) e IRIDIUM (1995).

4. INTEGRAÇÃO DO GPS E DA ECOBATIMETRIA

No âmbito marinho e na hidrografia, a concepção inicial do GPS era a de um sistema de navegação. Posteriormente, novos campos de aplicação para esse sistema foram se descortinando, como por exemplo: navegação precisa em áreas costeiras; mapeamento do fundo do mar; levantamentos hidrográficos precisos; acesso a portos; monitoramento de assoreamentos e de erosão em rios, lagos, áreas portuárias, áreas costeiras; controle de dragagens; apoio para a engenharia costeira; controle de atitude em embarcações, bóias e plataformas flutuantes; controle contínuo e preciso das alturas e posicionamento de sensores abaixo d'água. Atualmente, há interesse nas aplicações em tempo real (p. ex. na orientação das dragagens) e na integração com outros ramos, que necessitam de coordenadas precisas (como p.ex. GIS); e sistemas (p.ex. ecobatimetria).

Para levantamentos ecobatimétricos precisos e para o monitoramento do nível dos mares é muito importante a determinação contínua das alturas, com precisão centimétrica. O controle da atitude, por sua vez, é importante para as correções da inclinação da embarcação e dos sensores nos levantamentos marinhos e hidrográficos.

O GPS é uma componente eficaz para apoiar um sistema marinho de informações geográficas (GIS). Ele contribui para a formação de uma base geométrica uniforme (p.ex.: um sistema de coordenadas, um mapa digital, ou um mapa digital do terreno) e para a locação geométrica de objetos que entram no GIS (p. ex.: bóias, plataformas, canalizações de água, gás, óleo e luz). Com o emprego de programas como o GNRT-K (ver seção 2.8.4) e observações da fase da portadora, é possível alcançar precisões decimétricas (WÜBBENA and BAGGE, 1995) nos levantamentos e localizar estes objetos, contribuindo para o GIS.

A utilização do GPS nos levantamentos marinhos e hidrográficos ocorre de duas maneiras distintas. A primeira, na determinação da posição bidimensional da embarcação associada a um sistema ecobatimétrico para a determinação da profundidade. A segunda, consiste na utilização do GPS para a determinação tridimensional. No primeiro caso, faz-se necessário a correta ordenação espacial e temporal (ver seção 4.3), a correta ordenação das profundidades (ver seção 4.4.3) e a determinação do deslocamento vertical (ver seção 4.4.4); objetivando obter a posição com alta precisão. No segundo caso, tem-se um sistema independente. Esse sistema, está correlacionado a uma estação de referência GPS e aos dados obtidos pelo ecobatímetro.

Analisando-se o GPS como um sistema integrado com a ecobatimetria faz-se necessário realizar algumas correções, as quais são de extrema importância para a obtenção dos resultados com precisão. Também é necessário o conhecimento do sistema tridimensional de coordenadas cartesianas da embarcação e do sistema de altitude. Esses sistemas e estas correções serão apresentados na sequência.

Nas figuras 19 e 20, estão indicados os princípios para as observações batimétricas pelo método convencional e pelo método integrado (GPS/ecobatímetro).

FIGURA 19 - MÉTODO CONVENCIONAL PARA AS OBSERVAÇÕES BATIMÉTRICAS

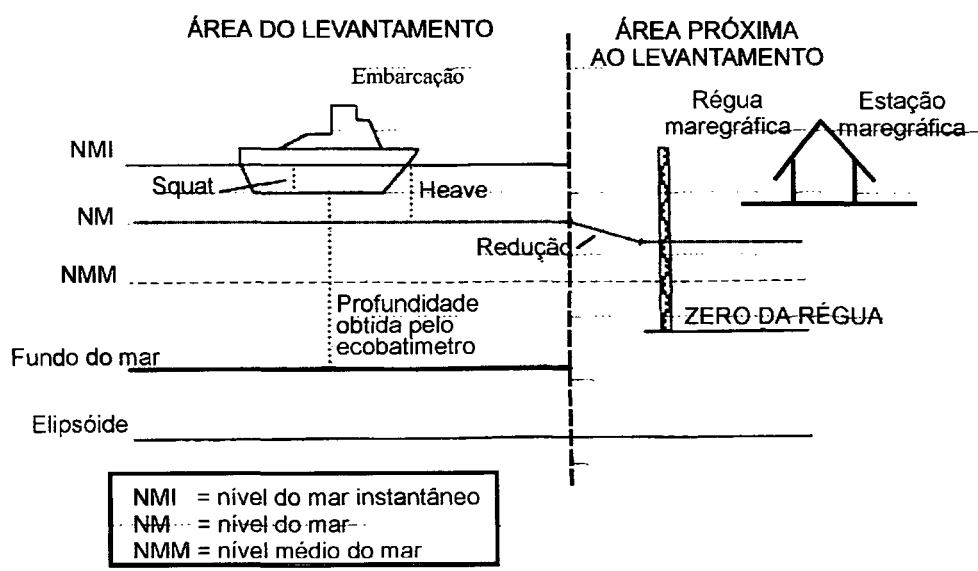
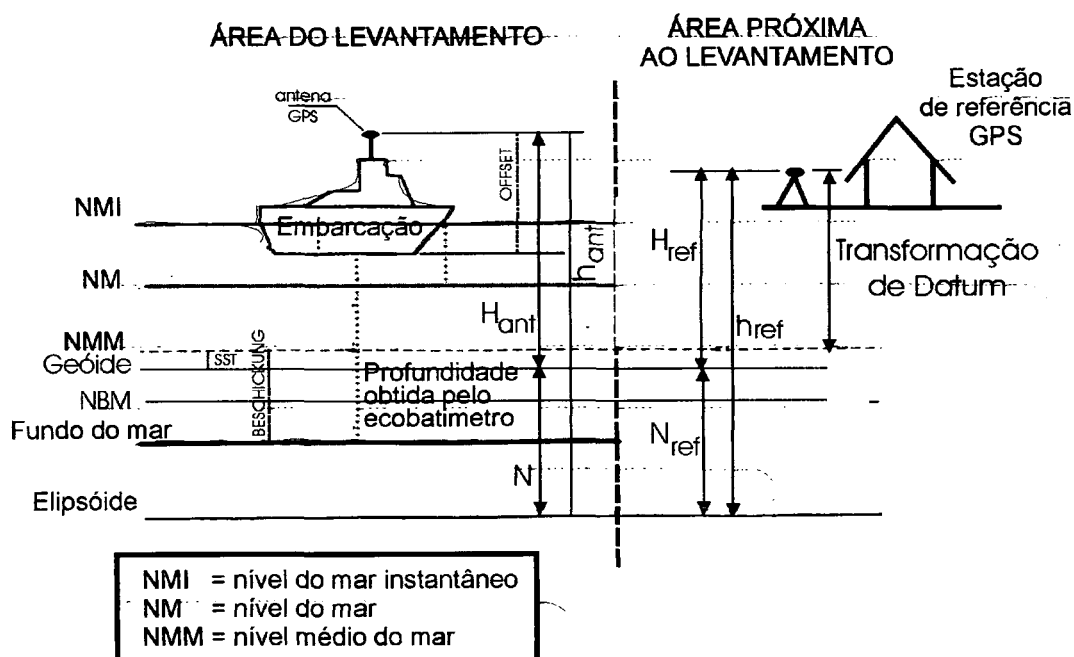


FIGURA 20 - MÉTODO INTEGRADO (GPS/ECO) PARA AS OBSERVAÇÕES BATIMÉTRICAS



4.1 SISTEMA TRIDIMENSIONAL DE COORDENADAS CARTESIANAS DA EMBARCAÇÃO

O movimento de embarcação no espaço é descrito segundo um sistema local e tridimensional de coordenadas cartesianas. A origem desse sistema situa-se no centro de gravidade da embarcação, sendo seus eixos definidos da seguinte forma (figura 21):

X: eixo ao longo da embarcação, sendo positivo no sentido de sua navegação;

Y: eixo transversal à embarcação, sendo positivo no sentido de estibordo (à direita do sentido de navegação); e

Z: eixo vertical, positivo para o alto da embarcação.

Existem seis graus de liberdade no movimento do barco, sendo três translações e três rotações. Na figura 21, tem-se uma visão desse sistema e dos componentes do movimento da embarcação. As translações poderão ser ignoradas se houver um sincronismo entre os sistemas GPS e ecobatímetro.

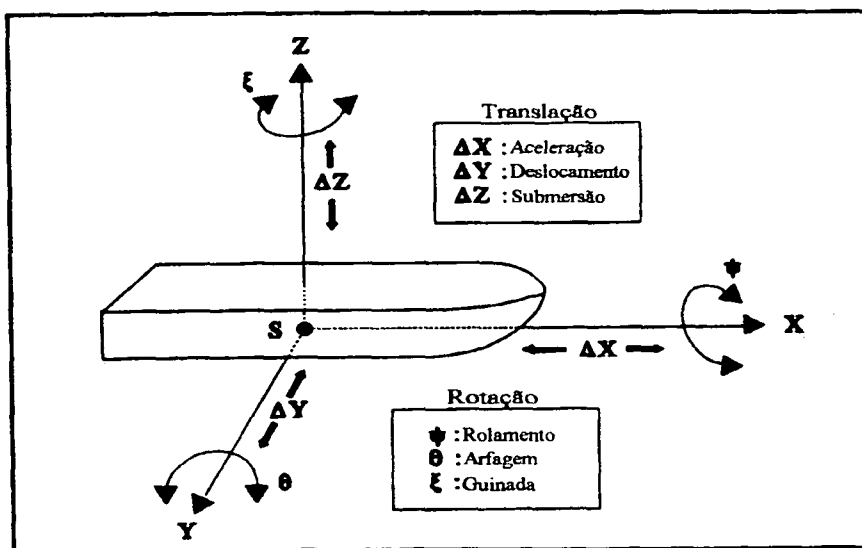
Na prática, as rotações apresentam um significado especial, pois permitem analisar a situação de equilíbrio da embarcação. A orientação desses vetores de rotação pode ser obtida através de alguns equipamentos. Por exemplo: com um sensor de inclinação, com um sensor de elevação com mais de um medidor de aceleração ou com pelo menos três receptores GPS. Neste último caso, é necessário conhecer a distância entre as antenas e, então, resolver as ambigüidades da fase da portadora e obter as posições das antenas no WGS84. Com a análise da alteração nas coordenadas, obtém-se a inclinação da embarcação e o seu azimute.³⁶

Segundo SEEBER (1992), através de experimentos realizados em tempo real, tem-se como resolução para os parâmetros de orientação da embarcação:

Azimute:....	0,01°;.....
Arfagem (<i>Pitch</i>):	0,25 mrad = 0,014 °; e
Rolamento (<i>Roll</i>):	1,00 mrad = 0,057 °

³⁶ Para maiores detalhes, consultar HEIMBERG (1994).

FIGURA 21 - OS MOVIMENTOS DA EMBARCAÇÃO
(Fonte: HEIMBERG, 1994)



Para se obter o comportamento exato da embarcação, é necessário analisar o seu azimute. O azimute é o ângulo formado entre um meridiano e a direção de navegação do barco. O pólo norte magnético não coincide com o pólo norte geográfico, resultando em uma diferença entre os azimutes, dependendo do referencial adotado. Considerando a influência do vento e do movimento horizontal das águas no sentido de deslocamento da embarcação, novos azimutes são definidos. Na figura 22, estão indicados diferentes conceitos para os azimutes, onde tem-se:

AzFv : azimute contado a partir da linha norte-sul verdadeira até a direção de deslocamento sobre o fundo;

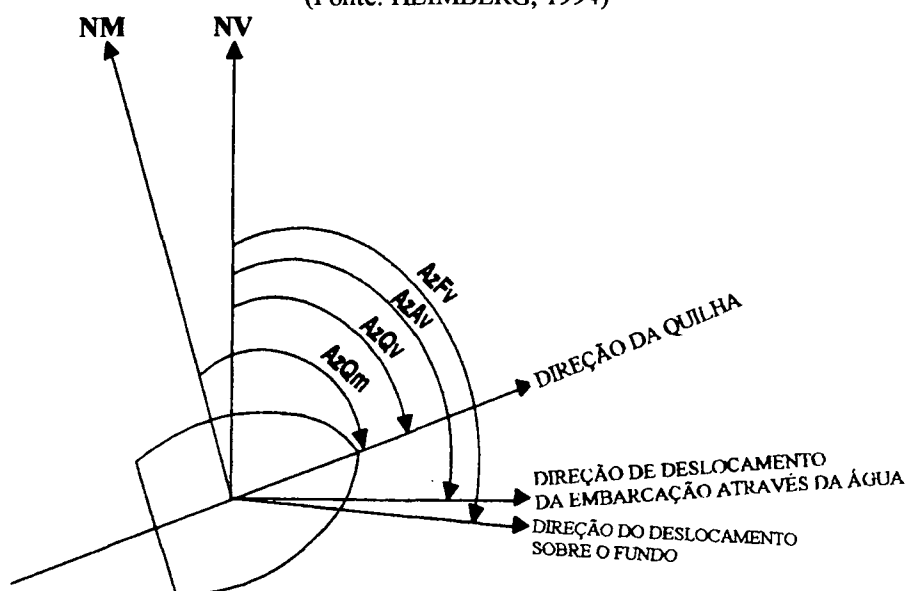
AzAv : azimute contado a partir da linha norte-sul verdadeira até a direção de deslocamento da embarcação na água;

AzQv : azimute contado a partir da linha norte-sul verdadeira até a direção da quilha da embarcação; e

AzQm : azimute contado a partir da linha norte-sul magnética até a direção da quilha da embarcação.

Em uma carta náutica, tanto a direção da embarcação quanto o azimute estão relacionados ao pólo norte geográfico.

FIGURA 22 - DEFINIÇÃO DOS AZIMUTES
(Fonte: HEIMBERG, 1994)



4.2 SISTEMA DE ALTITUDE

Nas aplicações geodésicas, é importante a determinação da altitude de um ponto sobre a superfície terrestre. Essa grandeza pode ser determinada a partir de diferentes referenciais - geóide e elipsóide -, que estão representados na figura 23. O geóide, fisicamente definido mas não materializado, trata-se de uma superfície equipotencial do campo da gravidade terrestre que mais se aproxima do nível médio dos mares (NMM), estendendo-se hipoteticamente sobre toda a superfície continental. Vinculado ao geóide está a altitude ortométrica (H). No Brasil, a origem do sistema se situa em Imbituba - SC (Brasil). Por sua vez, as altitudes elipsoidais (h) referem-se a um elipsóide, que é a figura geométrica mais aproximada de um geóide global. A separação vertical entre o geóide e um elipsóide de referência particular é denominada de ondulação do geóide (N). Os valores numéricos para essas ondulações dependem, evidentemente, do elipsóide utilizado. Para um elipsóide global ela pode alcançar até 100 m.

Da figura 23, constata-se que a diferença entre as altitudes ortométrica e elipsoidal, em um ponto (P), é dada pela equação (4.1):

$$h \cong H + N \quad (4.1),$$

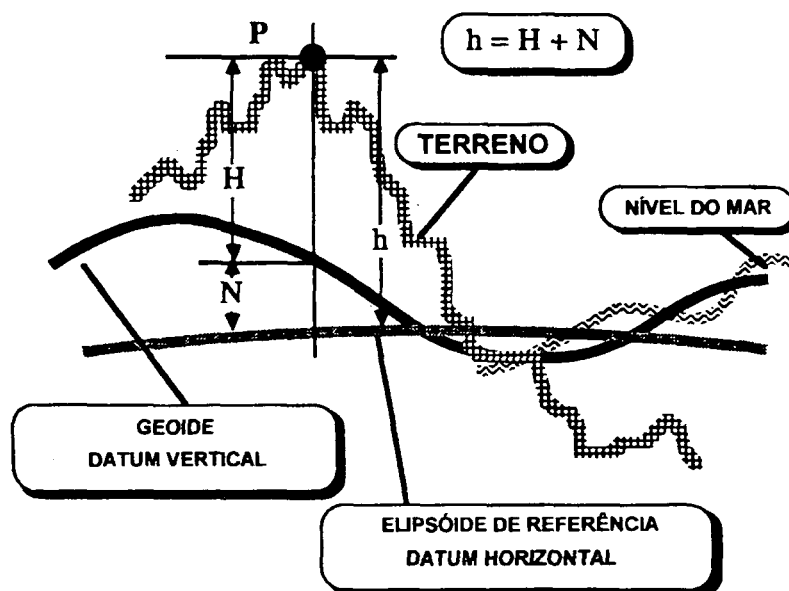
onde:

h : altitude elipsoidal ou geométrica;

H : altitude ortométrica; e

N : ondulação do geóide.

FIGURA 23 - ALTITUDES ÓRTOMÉTRICA E GEOMÉTRICA
(Fonte: WELLS, 1992)



Para se obter a altitude de um posicionamento sobre o mar, é necessário determinar a altura da antena (h_{ant}) sobre um elipsóide de referência (WGS84), a qual está referenciada a um nível do mar instantâneo (NMI), conduzindo, dessa forma, a um valor aproximado da altitude ortométrica. Ao se considerar a influência das marés (através de um modelo matemático), obtém-se o nível médio dos mares, o qual é idêntico ao geóide, após a consideração da chamada topografia da superfície oceânica (*Sea Surface Topography - SST*), de difícil modelagem matemática. A altura da antena ainda está sujeita aos movimentos do barco (rolamento(R), arfagem(A) e guinada(G)), conforme seção 4.1. Assim, a altitude ortométrica da antena sobre o geóide é expressa como (4.2) (ver figura 20) (HEIMBERG, 1994):

$$H_{\text{ant}} = H_{\text{ant}}^{\text{NMI}} + \Delta H_{\text{maré}} + \Delta H_{\text{SST}} + \Delta H_{\text{RAG}} \quad (4.2),$$

onde:

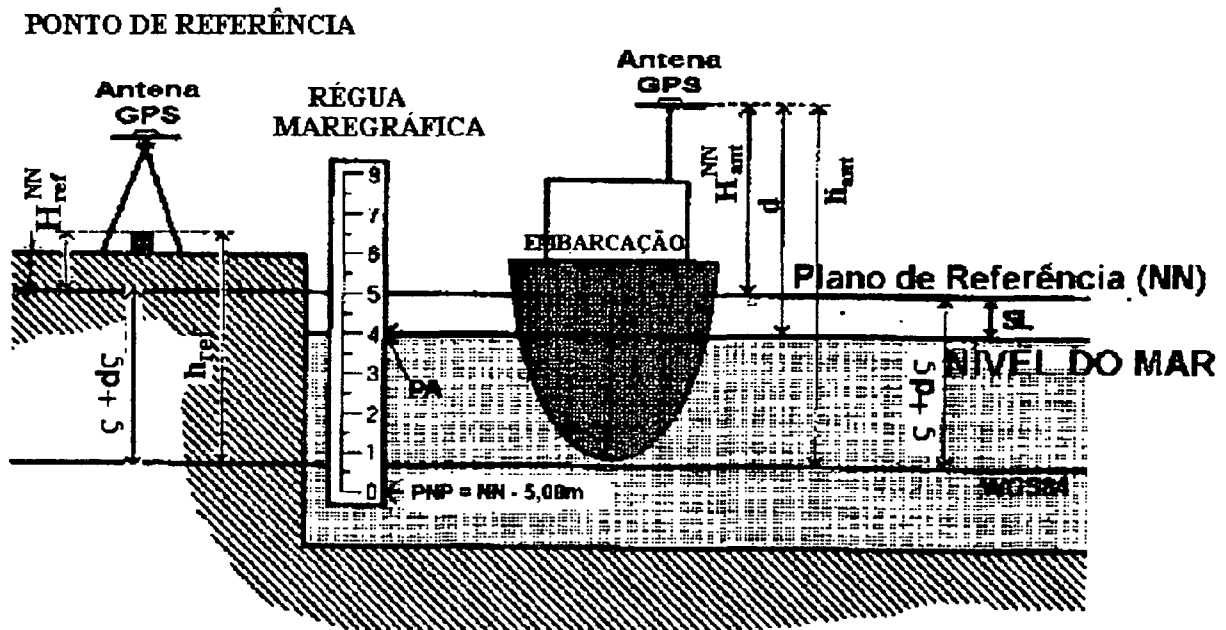
$H_{\text{ant}}^{\text{NMI}}$: altura da antena levantada com respeito ao nível do mar instantâneo;

- $\Delta H_{\text{maré}}$: modificação na altitude ortométrica em virtude das marés oceânicas;
- ΔH_{SST} : modificação na altitude ortométrica em função da topografia da superfície oceânica;
- ΔH_{RAG} : modificação da altitude ortométrica em virtude dos movimentos de embarcação.

A análise das equações (4.1) e (4.2) mostra que a ondulação do geóide é importante para se obter a altitude de um ponto, quer seja ortométrica ou geométrica. Porém, o geóide não é determinado com boa precisão para todas as regiões do planeta. No Brasil, o Mapa Geoidal apresenta precisão absoluta de ± 3 m. Esse problema tem significado especial quando se refere a uma navegação de alta precisão, pois, nesse caso, é exigida uma precisão subdecimétrica.

É possível empregar o GPS na determinação da variação do nível do mar com embarcações, independente do grau de determinação do geóide. A figura 24, ilustra tal sistema. A embarcação está próxima a uma régua de maré, possibilitando uma constante correlação altimétrica.

FIGURA 24 - DETERMINAÇÃO DA ALTURA DA ANTENA NO BARCO COM O GPS E LEITURAS DE MARÉ
(Fonte: GOLDAN, 1994)



Da figura 24 obtém-se a altura SL do nível d' água com relação ao plano de referência, (*Normal-Null-NN*³⁷) a partir da leitura na régua (PA):

$$SL = PA + PNP \quad (4.3),$$

onde:

SL : diferença entre o plano de referência (NN) e o nível do mar instantâneo;

PA : leitura na régua de maré;

PNP : zero na régua de maré no sistema do plano de referência (NN);

A altura em relação ao sistema NN é dada por:

$$H_{ant}^{NN} = h_{ant} - (\zeta + \Delta\zeta) \quad (4.4),$$

onde:

H_{ant}^{NN} : altura da antena GPS da embarcação em relação ao NN;

$\Delta\zeta$: variação do quasi-geóide;

ζ : altitude normal (quasi-geóide);

h_{ant} : altitude elipsoidal - WGS84 (embarcação).

A partir do ponto de referência pode-se obter:

$$\Delta\zeta = h_{ref} - \zeta - H_{ref}^{NN} \quad (4.4.a),$$

onde:

h_{ref} : altitude elipsoidal no ponto de referência - WGS84; e

H_{ref}^{NN} : altura da antena GPS locada sobre o ponto de referência em relação ao NN.

Após operações matemáticas, segundo GOLDAN (1996), obtém-se:

$$d = h_{ant} - h_{ref} + H_{ref}^{NN} - PA - PNP \quad (4.5),$$

onde:

d : altura da antena na embarcação em relação ao nível do mar (SL);

³⁷ *Normal-Null* é uma superfície de referência altimétrica da rede principal altimétrica alemã (DHHN) que passa através do ponto zero (*Normal-Nullpunkt*) (ver seção 5.2).

$$H_{\text{ref}}^{\text{NN}} = h_{\text{ref}} - H_{\text{ant}}^{\text{NN}}.$$

4.3 ORDENAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL

A determinação da posição com alta precisão só tem sentido quando se realiza a determinação correta da ordenação espacial e temporal. Por exemplo: a determinação estática de um ponto pode ser alcançada com a ordenação espacial através da centragem da antena GPS, a determinada altura, sobre o ponto. No âmbito cinemático, tal emprego é mais complicado.

Na ordenação espacial, em âmbito hidrográfico, há o problema da integração do GPS com o outro sistema, como por exemplo, a ecobatimetria. A transferência das coordenadas da antena GPS para outro sistema necessita da orientação da plataforma (posição e atitude) e de informações sobre o Rolamento (*Roll*), a Arfagem (*Pitch*), e a Guinada (*Yaw*), que são obtidos através do auxílio de sensores externos ou de antenas GPS e/ou do sistema compasso.

A ordenação temporal é um problema que permanece. Consiste na ordenação dos dados de posicionamento com os dados de outro sensor, tendo, como tempo base, outro que não o tempo GPS. Nessa ordenação, espera-se uma precisão melhor que 1 microssegundo.

Dar-se-á ênfase, na sequência, ao problema de sincronismo de tempo entre os sistemas GPS e a ecobatimetria (ver seção 4.4.2), bem como ao posicionamento da antena GPS em relação ao ecobatímetro (ver seção 4.4.1). Para uma precisão decimétrica verificar-se-á que o tempo de sincronismo deve ser inferior a 0,1 segundo.

4.4 FATORES QUE INFLUENCIAM NA PRECISÃO DA MEDIDA DE PROFUNDIDADE

Inicialmente deve-se ressaltar que a medida das profundidades, bem como o posicionamento das sondagens devem seguir as precisões indicadas pelas Especificações para Levantamentos Hidrográficos (1982) da Organização Hidrográfica Internacional - OHI. Essa, indica que "o erro total na medida da profundidade deve, com um nível de probabilidade de 90%, não exceder:

0,3 m :	para profundidade até 30 m;
1,0 m :	para profundidade de 30 m a 100 m; e

1% da profundidade : para profundidades maiores que 100 m ". (OHI/1982)

Há diferentes fatores que influenciam na precisão da determinação de profundidade. Inicialmente, é preciso determinar a grandeza desses fatores, que são compostos por uma parte acidental e uma sistemática. Os acidentais compreendem a precisão do posicionamento horizontal, a precisão na medição com a sonda e a precisão da ordenação das profundidades (*Beschickung*); os sistemáticos englobam o erro na medida de profundidade em função do ângulo de inclinação do terreno e da embarcação, o erro de sincronização entre os sistemas (por exemplo: GPS e ecobatímetro) e a velocidade de propagação do som na água.

Para auxiliar na compreensão desses fatores, apresenta-se, na figura 25, um modelo global de todas as grandezas que influenciam no levantamento de profundidade precisa.

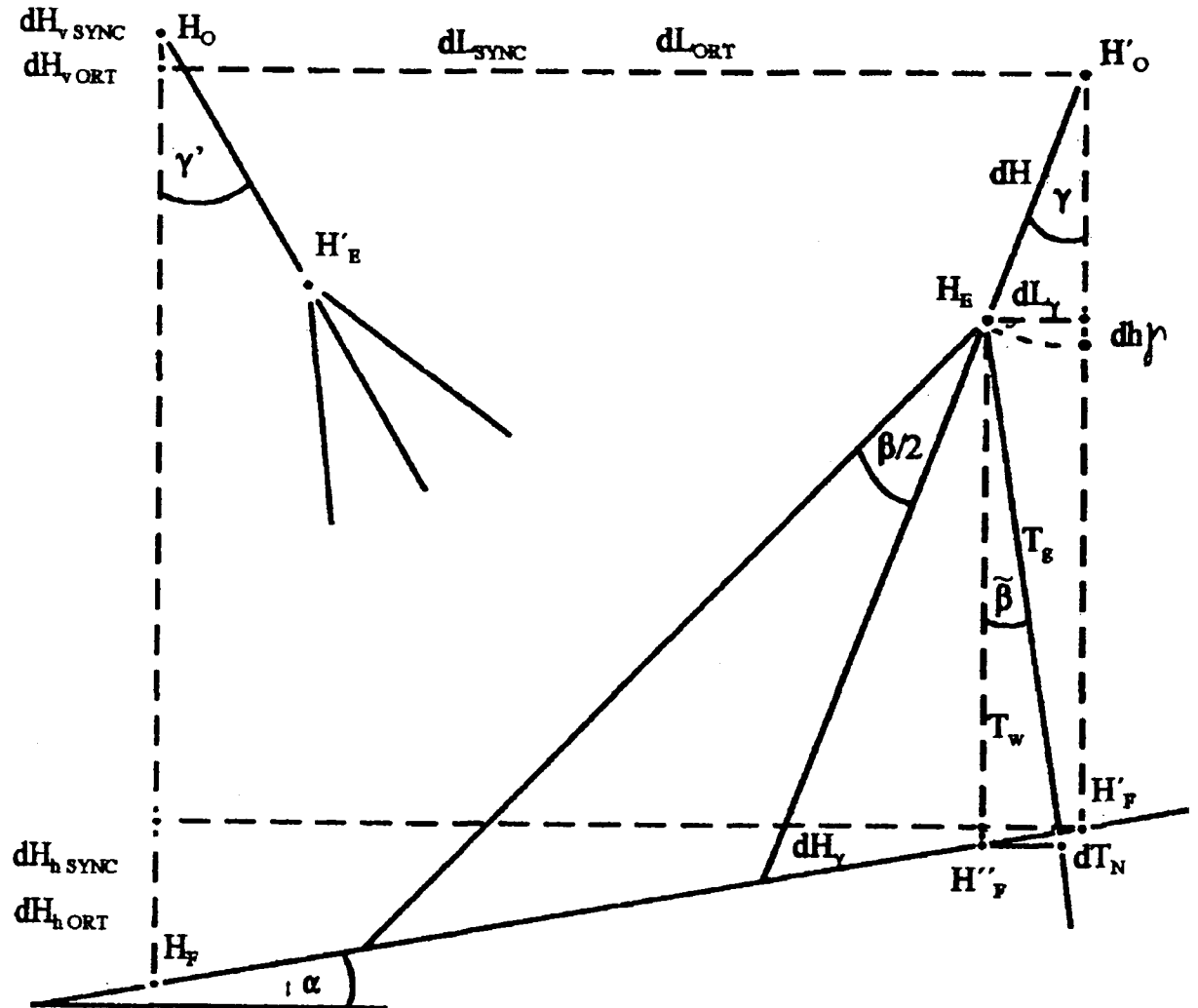
Os elementos componentes da figura 25 são:

- γ : ângulo de inclinação não corrigido da embarcação no momento do levantamento ecobatimétrico;
- γ' : ângulo de inclinação não corrigido da embarcação no momento do levantamento GPS;
- α : ângulo de inclinação do terreno;
- β : ângulo de abertura do ecobatímetro;
- dH : diferença de altura entre a antena GPS e o ecobatímetro no momento do levantamento ecobatimétrico;
- dh_γ : erro da diferença de altura dH em função da inclinação γ ;
- T_g : profundidade medida com o ecobatímetro;
- T_w : profundidade real no momento do levantamento ecobatimétrico;
- H_o : altura verdadeira da antena GPS no momento do levantamento GPS;
- H_E : altura verdadeira do ecobatímetro no momento do levantamento GPS;
- H_F : altura verdadeira do solo no momento do levantamento GPS;
- H_o' : altura verdadeira da antena GPS no momento do levantamento ecobatimétrico;
- H_E' : altura verdadeira do ecobatímetro no momento do levantamento ecobatimétrico;
- H_F' : altura verdadeira do solo no momento do levantamento ecobatimétrico;
- H_F'' : altura verdadeira do ponto levantado com a sonda;

dH_γ : erro na profundidade em função da inclinação γ ;

FIGURA 25 - MODELO GLOBAL DAS GRANDEZAS ENVOLVIDAS NO LEVANTAMENTO DE PROFUNDIDADE

(Fonte: WIRTH, 1995)



dT_N : erro puro na medida de profundidade em função da inclinação γ, α ;

dL_{ORT} : erro de posicionamento horizontal;

dL_γ : erro de posicionamento horizontal em função da inclinação γ ;

dL_{SYNC} : erro de posicionamento horizontal em função do erro de sincronização temporal;

dH_{vSYNC} : erro na altura em função do erro de sincronização temporal (Altitude GPS);

dH_{hSYNC} : erro na altura em função do erro de sincronização temporal (Posição GPS);

dH_{vORT} : erro na altura em função da precisão de posicionamento vertical GPS; e

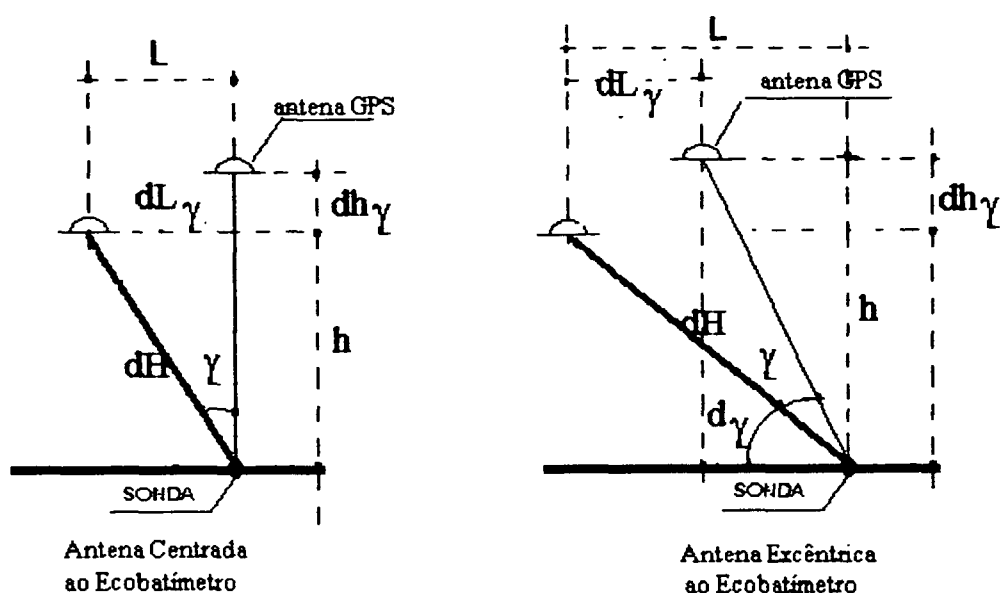
dH_{hORT} : erro na altura em função da precisão de posicionamento horizontal GPS.

4.4.1 A INFLUÊNCIA DOS ÂNGULOS DA INCLINAÇÃO DA EMBARCAÇÃO E DA INCLINAÇÃO DE TERRENO NO POSICIONAMENTO

Em um levantamento GPS/ecobatimétrico, é importantíssimo determinar, a bordo da embarcação, a posição exata da antena do receptor GPS em relação ao ecobatímetro. Tal determinação pode ser feita antes de se iniciar o levantamento ou pode ser conhecida "a priori", se esses equipamentos estão instalados de forma definitiva.

É possível se estabelecer uma relação matemática entre a antena e o ecobatímetro. Contudo, é preciso determinar ambos no sistema de coordenadas da embarcação, conforme seção 4.1. A antena do receptor GPS pode estar disposta de forma centrada ou excêntrica em relação ao ecobatímetro. Na figura 26, tem-se uma visão da presente questão.

FIGURA 26 - POSICIONAMENTO DA ANTENA GPS EM RELAÇÃO À SONDA E O EFEITO DO ÂNGULO γ NA PRECISÃO DA POSIÇÃO



sendo:

h : diferença de altura entre a antena GPS e a sonda do ecobatímetro;

L : distância horizontal entre a antena GPS e a sonda; e

γ : ângulo formado entre a antena GPS e um plano horizontal.

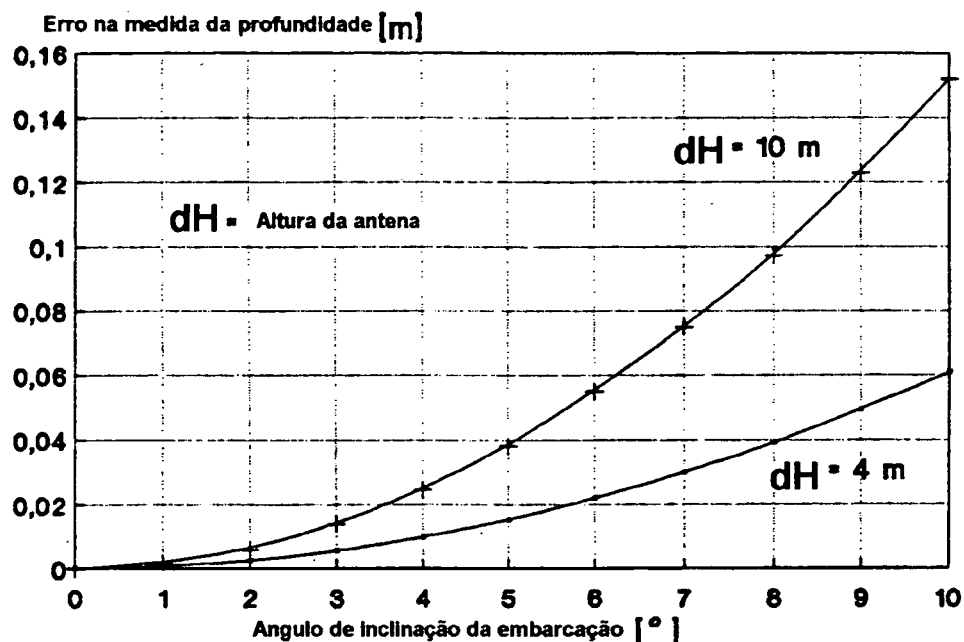
O modelo matemático (equações 4.6 e 4.7) é obtido a partir da figura 26 e fornece os erros no posicionamento da antena GPS em relação ao ecobatímetro devido ao ângulo de inclinação da embarcação. Se a antena estiver posicionada sobre o ecobatímetro, tal modelo fica simplificado. Os ângulos de inclinação da embarcação (γ) e do terreno (α) também ocasionam um erro que exerce influência sobre a precisão da medida de profundidade:

$$dh\gamma = |h - (L^2 + h^2)^{1/2} \cdot \sin(d\gamma \pm \gamma)| \quad (4.6),$$

$$dL\gamma = |L - (L^2 + h^2)^{1/2} \cdot \cos(d\gamma \pm \gamma)| \quad (4.7),$$

Na figura 27 observa-se o erro na determinação da profundidade em função do ângulo de inclinação da embarcação (WIRTH, 1993).

FIGURA 27 - ERRO NA DETERMINAÇÃO DA PROFUNDIDADE EM FUNÇÃO DO γ
(Fonte: WIRTH, 1993)

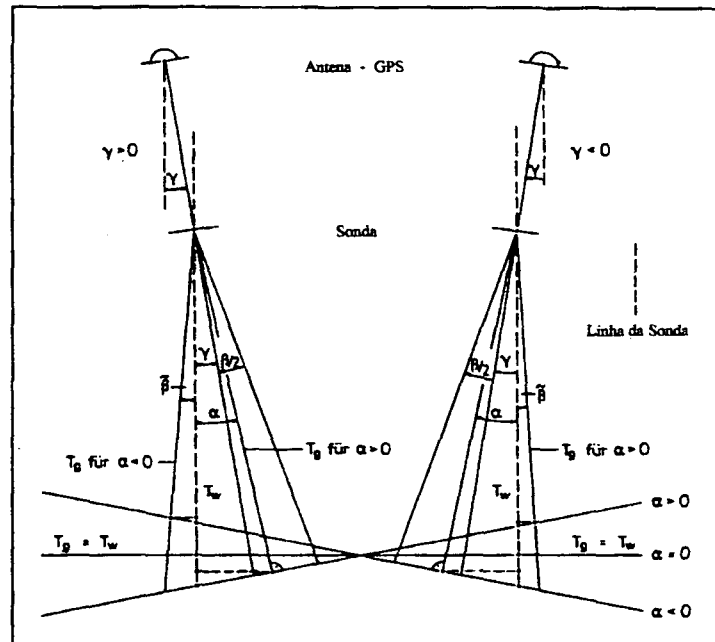


Segundo WIRTH (1993), a fim de se eliminar o erro na determinação da profundidade em função do ângulo de inclinação da embarcação, aplica-se uma grandeza de correção dT_n . Porém, é necessário que o ângulo de inclinação da embarcação não ultrapasse o feixe de raios (β) emitidos pelo ecobatímetro. O valor real da profundidade (T_w) encontra-se dentro desse feixe. Ter-se-á um desvio entre o valor real e o valor medido da profundidade conforme os

ângulos γ ou α sejam positivos ou negativos. Na figura 28, observa-se a relação geométrica do sistema.

O valor da profundidade medida T_g é a menor ligação entre o ecobatímetro e a superfície do terreno. É exigência geométrica que essa profundidade forme um ângulo reto com a superfície do terreno ou que coincida com a linha limite do feixe de raios emitidos pelo ecobatímetro. No primeiro caso, o ângulo formado entre a profundidade medida e a linha vertical da sonda é igual ao ângulo de inclinação do terreno (α); no segundo caso, esse ângulo é obtido pela diferença entre o ângulo de inclinação da embarcação (γ) e metade do ângulo de abertura do feixe (β). A correção dT_n é calculada pela equação (4.8).

FIGURA 28 - RELAÇÃO GEOMÉTRICA DO SISTEMA
(Fonte: WIRTH, 1993)



Observa-se, pela figura 28, que o ângulo $\tilde{\beta}$ é o ângulo formado entre a linha vertical à sonda e a profundidade medida e que ele depende dos ângulos de inclinação do terreno e da embarcação:

$$dT_n = T_g * [\cos \tilde{\beta} + \tan \alpha * \sin \tilde{\beta} - 1] \quad (4.8),$$

$$\begin{aligned}
&\text{para } \alpha < 0 \text{ e } \gamma > 0 \quad \tilde{\beta} = |\gamma - \beta/2| \\
&\gamma < 0 \quad \tilde{\beta} = \alpha \\
&\text{para } \alpha > 0 \text{ e } \gamma > 0 \quad \tilde{\beta} = \alpha \\
&\gamma < 0 \quad \tilde{\beta} = |\gamma - \beta/2|.
\end{aligned}$$

Substituindo-se tais valores na equação (4.8), resulta um valor máximo da correção dT_n para $\tilde{\beta} = \alpha$. Verifica-se que o erro, na determinação da profundidade, depende apenas do ângulo de inclinação do terreno (α). Na equação (4.9), é possível verificar a influência do ângulo de inclinação e do erro de posicionamento horizontal no erro da altura, em função da precisão do posicionamento horizontal GPS:

$$dH_{\text{hORT}} = dL_{\text{ORT}} \cdot \tan \alpha \quad (4.9),$$

onde:

dH_{hORT} : erro na altura em função da precisão de posicionamento horizontal GPS;

dL_{ORT} : erro de posicionamento horizontal;

Observa-se que a tolerância para o erro do posicionamento horizontal será fixada pela precisão da determinação de profundidade desejada, sendo esse valor definido por um órgão competente na área de levantamentos batimétricos, por exemplo: OHI. Esse prevê algumas alterações nas suas especificações quanto ao posicionamento das sondagens, que deverão entrar em vigor nesse ano. Especifica: "para o posicionamento em levantamentos em áreas críticas como portos com pouca profundidade e que operam com navios de grande calado, a precisão será da ordem de 1 m. Para levantamentos nas rotas recomendadas, canais de navegação, portos e aproximação de portos com profundidades acima de 50 m, a precisão será na ordem de 5 m; em áreas costeiras com profundidades acima de 200 m, a precisão será na ordem de 20 m e áreas oceânicas, será da ordem de 150 m" (OHI/1996).

Na tabela 12 pode-se observar os erros obtidos na determinação da profundidade em função do erro de posicionamento e do ângulo de inclinação do terreno (WIRTH, 1993).

Para um posicionamento tridimensional, transfere-se totalmente a precisão na determinação da altitude com o DGPS à precisão da medida de profundidade do sistema de levantamento.

TABELA 12 - ERROS NA DETERMINAÇÃO DA PROFUNDIDADE EM FUNÇÃO DE α E DO ERRO DE POSICIONAMENTO
(Fonte: Wirth, 1993)

<i>ERROS NA DETERMINAÇÃO DA PROFUNDIDADE</i>				
<i>(cm)</i>				
ERRO DE POSICIONAMENTO (m)	$\alpha = 1^\circ$	$\alpha = 2^\circ$	$\alpha = 3^\circ$	$\alpha = 4^\circ$
0.5	1	1,7	2,6	3,5
1	1.7	3,5	5,2	7,0
2	3,5	7,0	10,5	17,0
5	8,7	17,4	26,2	34,9
10	17,4	34,9	52,3	69,8

4.4.2 SINCRONISMO ENTRE O GPS E O ECOBATÍMETRO

O movimento dinâmico da embarcação depende do meio ambiente marítimo e do seu tamanho. Segundo HOPKINS (1981), as águas oceânicas são caracterizadas por ondas de altura de 2 metros e com períodos de 5 a 10 segundos, correspondendo a uma velocidade de aproximadamente 1 m/s. Portanto, para uma precisão decimétrica, o tempo de sincronismo deve ser de 0,1 segundo. É possível ordenar as coordenadas DGPS ao centro do ecobatímetro, porém há problema com relação à sincronização dos tempos entre os sistemas. São dois problemas distintos:

- tempo de retardo: todos os sensores apresentam um retardo interno devido ao tempo de cálculo e às conexões com a interface, apresentando dados mais antigos do que os da atual observação;
- os relógios dos sistemas de posicionamento (GPS) e do ecobatímetro não são sincronizados; logo, as observações em ambos sistemas não coincidem.

O primeiro problema pode ser resolvido mediante uma calibração efetuada antes do levantamento. Para o segundo problema, segundo LEMMENS (1989) ou WIRTH (1995), apresentam três alternativas:

- o receptor GPS ou um relógio central, que serve como estação de referência, envia impulsos elétricos e o sensor de bordo (*triggers*) capta-os e os decodifica provocando a medida simultânea;

- o valor medido no sistema de posicionamento é interpolado para um instante de tempo medido no sistema de levantamento da profundidade, no qual é determinado, em um certo intervalo de tempo, um novo arquivo de hora;

- uma correlação periódica das escalas de tempo entre os sistemas; ou seja, sempre que for lido um valor de profundidade, deve-se procurar escolher o lugar de intersecção do sensor de posicionamento. Se, por acaso, existir tal valor medido, então ordena-se o valor da profundidade. Contudo, não resulta um sincronismo direto.

Segundo WIRTH (1995) a terceira alternativa é a mais empregada, apesar de não apresentar uma solução satisfatória. É a variante que o Instituto Federal para o Conhecimento das Águas (BfG) tem buscado. A primeira alternativa também não é satisfatória porque nem todos os sensores efetuam as medidas numa mesma frequência; logo, nem todos os valores medidos estarão disponíveis.

O erro na altura em função do erro de sincronização temporal e do ângulo de inclinação do terreno é expresso por::

$$dH_{hSYNC} = v_h \cdot SYNC \cdot \tan \alpha \quad (4.10),$$

onde:

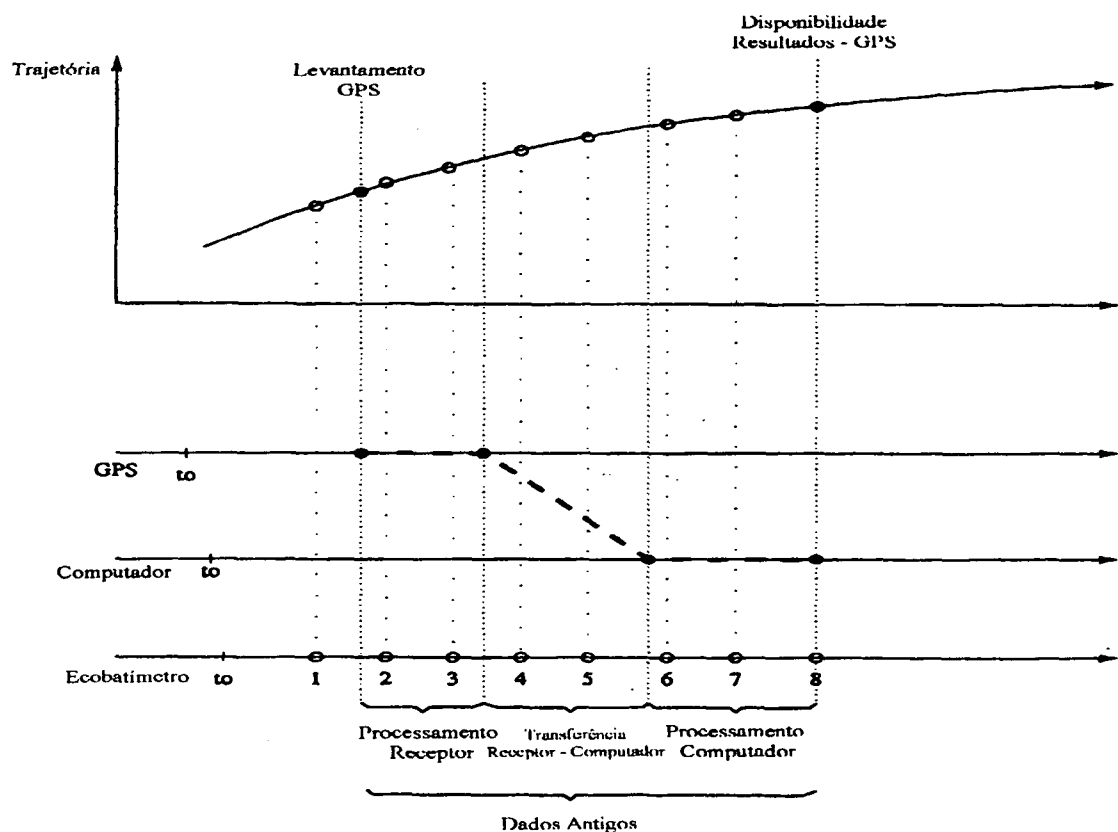
dH_{hSYNC} : erro na altura em função do erro de sincronização temporal (Posição GPS); e

$v_h \cdot SYNC$: erro de sincronização em ms.

Após uma proposta feita por WÜBBENA and BAGGE (1995), pode a primeira alternativa realizar-se, os dados do levantamento ecobatimétrico são recebidos e armazenados na ordenação temporal através da leitura do relógio central calculador. A precisão depende do sincronismo desse relógio com o tempo GPS. Porém, junto ao fator do não sincronismo, há um certo tempo decorrido entre o momento em que a medida é efetuada, até o seu processamento no receptor. Dura de 0,5 a 3 segundos, e através da transferência serial acresce na velocidade de transferência de 0,1 a 1 segundo. Os dados antigos da informação GPS

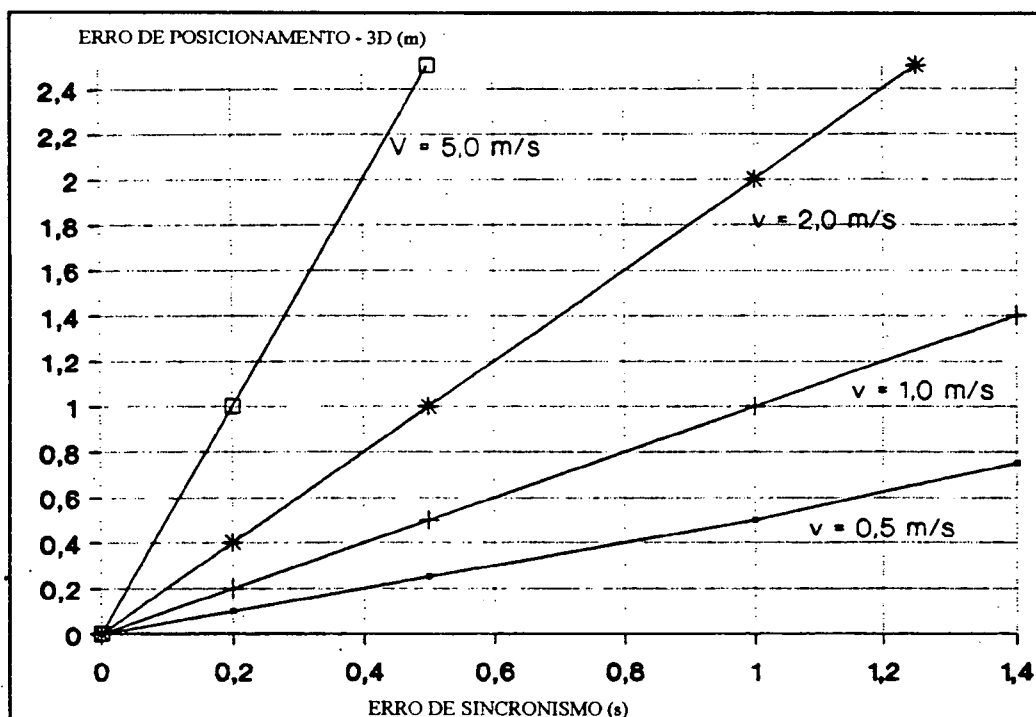
podem alcançar até poucos segundos, e o tempo empregado não é constante. Por exemplo, na mudança do número do satélite, é possível uma variação de até um segundo. Os resultados da determinação de posicionamento GPS ficam à disposição num computador externo, num período de um a poucos segundos após a medida. Para a combinação dos dados GPS com outros dados (p.ex. do ecobatímetro) é abalizado o instante de tempo da medida GPS e não o instante de tempo em que o resultado GPS fica disponível. Quando há o sincronismo entre o GPS e o ecobatímetro, deve ser considerada a determinação da posição GPS dos dados antigos, conforme se observa na figura 29.

FIGURA 29 - SINCRONISMO ENTRE OS SISTEMAS
(Fonte: WÜBBENA and BAGGE, 1995)



A alta precisão é exigida não só na determinação do posicionamento, mas também no espaço temporal desses dados de posicionamento. Na figura 30, observa-se o erro de posicionamento causado pela falta de sincronização entre os sistemas, em função da velocidade da embarcação.

FIGURA 30 - ERRO DE POSICIONAMENTO DEVIDO A FALTA DE SINCRONIZAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS
(Fonte: WIRTH,1993)



Fica claro que, ao almejar-se uma precisão de 1 cm e com uma velocidade da embarcação de 1 m/s, necessita-se de um sincronismo entre os sistemas de 0,01 segundos, e que, para uma precisão de posicionamento de ± 1 m com um barco na velocidade de 5 m/s, necessita-se de um espaço temporal melhor que $\pm 0,2$ segundos. Como a precisão desejada está intimamente ligada ao sincronismo dos sistemas, tal fator tem sido estudado e pesquisado por algumas instituições. É o caso do BfG, que desenvolveu o programa HYMAS, conforme descrito na seção 2.8.3, o qual trabalha com uma precisão de sincronismo de 0,03 segundos.³⁸

4.4.3 ORDENAÇÃO DAS PROFUNDIDADES (*BESCHICKUNG*)

Em hidrografia, *Beschickung* significa o transporte dos dados de um marégrafo para pontos no local da sondagem (LUCHT, 1973).

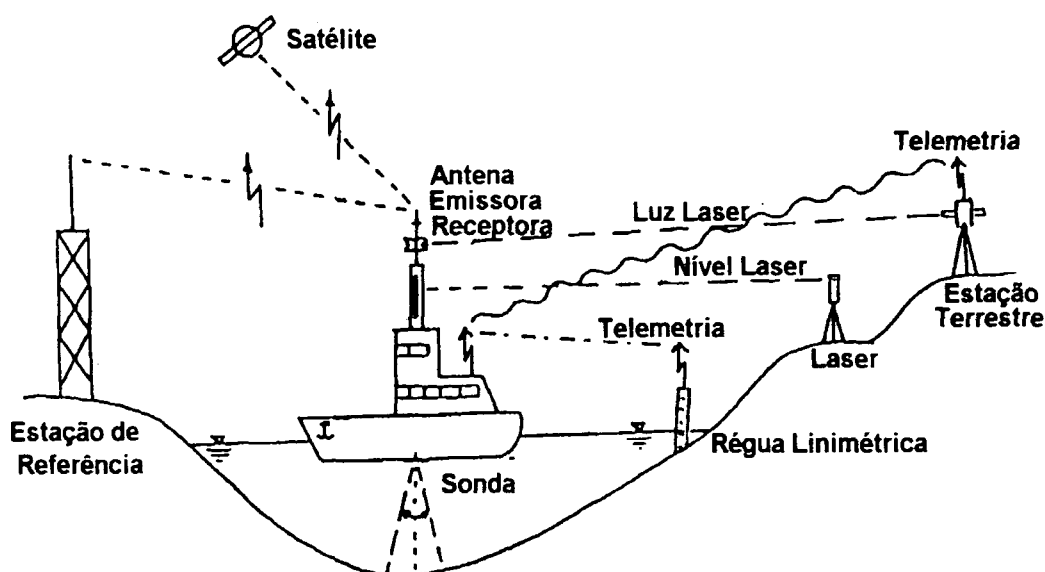
Com essa definição, compreende-se a ordenação dos valores de profundidade em relação a um sistema de referência de altura. Esse sistema pode ser, por exemplo, a *Normalnull* - NN - como uma superfície de referência altimétrica da Secretaria de Geodésia e

³⁸ Para maiores informações consultar WIRTH and BRÜGGEMANN (1995).

Levantamentos ou, no âmbito da costa, a *Seekartennul* l-o nível zero dos mapas de navegação-SKN (ver seção 5.2).

Essa ordenação, ou seja, o transporte das alturas para um sistema de referência, pode ser feita por métodos direto ou indireto. O método direto consiste de um sistema de apoio terrestre; um nivelamento. Atualmente, pode-se citar o sistema de nivelamento a laser, o qual consiste na instalação de uma estação estacionária de rotação laser (figura 31) numa costa, gerando um nivelamento contínuo, que proporciona dessa forma, o *Beschickung* para cada viagem no sistema de levantamento. Segundo BEHRENS (1993), a precisão alcançada para a ordenação das profundidades, nesse caso, é de 8 a 10 cm/1000 m, sem levar em consideração a refração local existente, que, é claro, limita a precisão.

FIGURA 31 - SISTEMA DE NIVELAMENTO A LASER
(Fonte: BEHRENS, 1993)



O método indireto, por sua vez, baseia-se nesse transporte, contando com o apoio dos dados do nível d'água. Segundo ROSENGARTEN (1987), devem-se considerar os seguintes fatores:

- a quantidade e a posição das réguas linimétricas existentes na região;
- a condição hidrodinâmico-morfológica da região a ser levantada;
- influência meteorológica; e
- o método de ordenação das profundidades utilizado.

O Instituto Federal de Hidrografia e Navegação na Alemanha (BSH) emprega um sistema padrão para a determinação do *Beschickung* baseado na carta calculada para o nível de água (WEK - *Wasserstandserrechnungskarten*). Essa carta apresenta, para cada régua linimétrica, a zona levantada assim como o tempo da maré alta nessa região. Essa zona fica limitada através de linhas de marés médias de sizígia em intervalos de 10 cm e o tempo de maré alta através de linhas de entrada de maré alta em intervalos de 10 minutos. Na figura 32, observa-se que, na área tracejada,³⁹ a maré alta está a 30 minutos antes da régua linimétrica (tempo zona de maré alta - 30^m) e a maré média está a 20 cm a menos que a maré média na régua linimétrica (Zona-II Z).

Segundo ROSENGARTEN (1987), a precisão da ordenação das profundidades, nesse caso, está em torno de ± 20 cm. A ordenação das profundidades pode ser calculada através da equação (4.11), segundo ROHDE (1989):

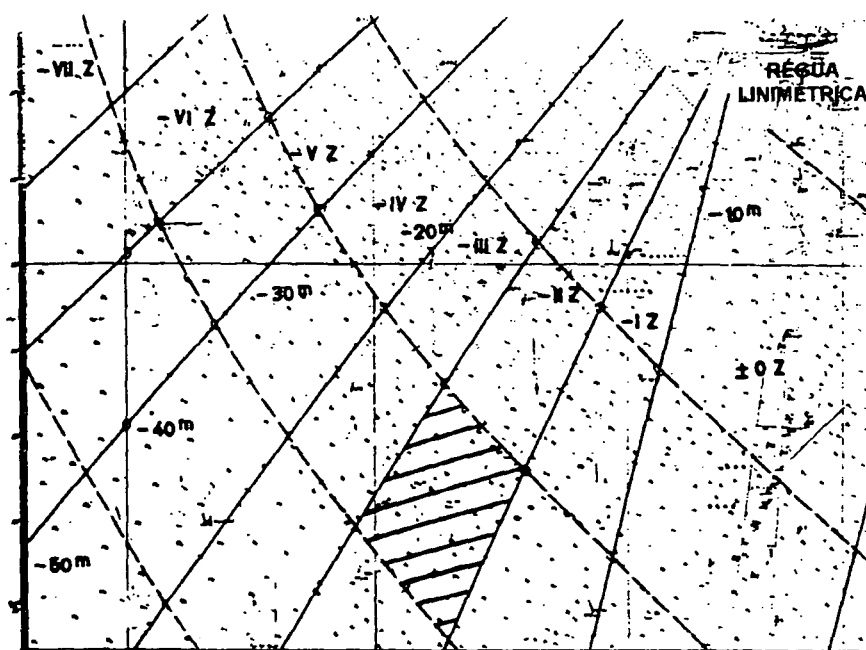
$$RA = \left(\frac{TR + 0.1 * RZ}{TR} \right) * (CD - TGR) + RE \quad (4.11),$$

sendo:

- RA : valor da ordenação das profundidades ;
- TR : maré na régua local;
- RZ : zona levantada;
- CD : plano de referência na Alemanha (SKN);
- TGR : leitura na régua; e
- RE : erro de leitura.

³⁹ Exemplo citado por AMMERSDÖRFER (1995).

FIGURA 32 - CARTA PARA A DETERMINAÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA
(Fonte: AMMESDÖRFER, 1995)



Buscando uma melhor precisão na determinação do *Beschickung*, foram desenvolvidos novos sistemas. KÖVES, segundo AMMERSDÖRFER (1985), emprega um polinômio de segundo grau para aproximação da superfície da água em uma seção vertical ao longo da ligação entre réguas linimétricas. O sistema foi aplicado no âmbito do rio Elba, utilizando-se três réguas linimétricas estacionárias; a precisão obtida foi melhor do que ± 10 cm. Contudo, há uma imprecisão devido à aproximação linear. Um outro procedimento de representação imediata da ordenação das profundidades no sistema de réguas linimétricas é a interpolação linear entre duas réguas. A precisão de ± 10 cm fica limitada à existência de uma rede de réguas linimétricas, com uma régua a cada 2 km^2 (ROSENGARTEN, 1987). Verifica-se que os sistemas apresentam deficiências, pois dependem não apenas da carta calculada para o nível d'água, como do cálculo da curva média de maré. O sistema empregado após KÖVES foi representativo e confiável para os dados de nível d'água, mas para um local muito limitado.

Visando a necessidade de uma determinação imediata da ordenação das profundidades com precisão e de forma econômica, foi desenvolvido na Alemanha um projeto (ROSENGARTEN, 1987) que conduz a um novo princípio: o modelo digital da superfície da água. Tal modelo dinâmico (DYWOM) partiu da concepção inicial do modelo digital de terreno. Segundo HAKE and GRÜNREICH (1994), um modelo digital de terreno (DGM) descreve a superfície sólida da Terra e sua forma geométrica com a ajuda de pontos de apoio

tridimensionais para a ligação. O DYWOM, então, seria a modelagem geométrica da dinâmica da superfície da água com grandezas geométricas sem considerações da influência das grandezas físicas. Logo, observa-se que a diferença entre o DGM e o DYWOM consiste na dinâmica. Chega-se a um modelo tetradimensional, pois há a modificação da posição da superfície da água com o tempo.

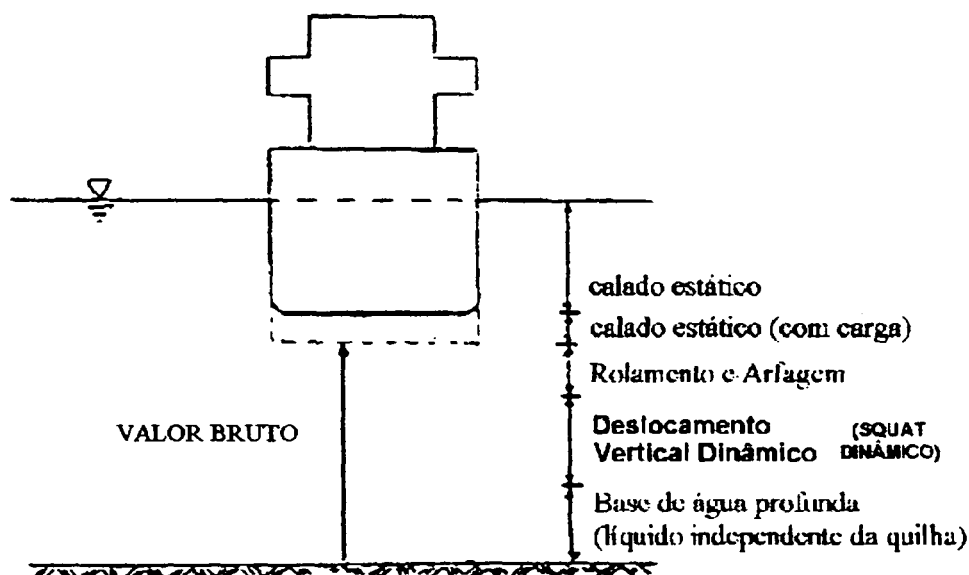
Atualmente, utiliza-se o sistema GPS para a determinação do *Beschickung*, que não fica determinado apenas com o posicionamento da antena com alta precisão. É necessária a observação do sincronismo entre os sistemas, a transformação das coordenadas GPS para a posição do ecobatímetro, considerando a influência do ângulo de inclinação da embarcação e a transformação do sistema WGS84 para o sistema de referência. O *Institut für Erdmessung* tem realizado projetos em âmbito marinho, nos quais a ordenação das profundidades tem sido analisada. Num projeto (*Norderney*) obteve-se uma precisão pelo menos igual à obtida pelo sistema tradicional.⁴⁰ Com a utilização do GPS para essa aplicação, existe a vantagem da independência na determinação do *Beschickung* com relação a uma carta calculada para o nível d'água, e há limitações com relação à precisão atualmente obtida para o tempo de sincronismo entre os sistemas GPS e ecobatímetro (figura 20). Porém, como a questão está em estudos, provavelmente haverá uma significativa melhoria nesse sincronismo.

4.4.4 DESLOCAMENTO VERTICAL (*SQUAT*)

Deslocamento Vertical (*Squat*) é o fenômeno definido como a modificação vertical do barco com respeito à superfície atual da água, ou seja, é o afundamento e a desestabilização que o barco apresenta durante a navegação. É fácil de se constatar tal movimento, pois a embarcação, durante a navegação, impele parte das águas deslocadas para a sua proa. A onda de proa corre lateralmente e sob a quilha do barco com uma velocidade maior do que a do barco. Há uma redução da pressão ao redor do barco, provocando um afundamento do espelho d'água. O corpo do barco submerge para mais fundo, e ocorre desestabilização. Pode-se observar o deslocamento vertical (*squat*) na figura 33.

⁴⁰ Segundo BÖDER (1994).

FIGURA 33 - DESLOCAMENTO VERTICAL (SQUAT)
(Fonte: ANDREE, 1995)



Este fenômeno sucede independentemente da profundidade das águas navegáveis. Todo barco robusto ou com considerável quantidade de carga apresenta um *squat* dominante na proa, enquanto que o barco mais delgado, na popa.

Classifica-se o deslocamento vertical em estático e em dinâmico, segundo LEMMENS (1993). O estático é determinado pela leitura da superfície atual da água com respeito a uma linha especificada no barco, popularmente denominado de calado da embarcação. Em muitos casos, esse valor é conhecido para um barco, em função do seu peso. Porém, é um método deficiente. O calado estático está também sujeito as cargas presentes na embarcação (p.ex. combustível, o número de pessoas principalmente em embarcações de pequeno porte). O deslocamento vertical dinâmico depende da profundidade submersa do barco na água, de sua forma e velocidade. Com alta velocidade, o deslocamento vertical aumenta em vários centímetros, segundo VAN BREMEN (1986).

Esse fenômeno pode ser determinado por um modelo simples, no qual a velocidade é um dos parâmetros. Com esse modelo, a precisão obtida não é superior a 5 cm, segundo LEMMENS (1993).

O deslocamento vertical (*Squat*) é importante quando se realiza a batimetria pelo sistema convencional e quando se deseja determinar a *Normal-Null*, por exemplo. Quando utilizo o sistema GPS ele não é importante para a determinação da profundidade.

Em uma pesquisa efetuada em águas dinamarquesas (NAVROCKI, 1994), numa embarcação com as características de 225 m de comprimento, 32 m de largura, 12,8 m de profundidade submersa na água e 14 nós de velocidade, foi detectada uma modificação média na profundidade de 1,54 m e, no âmbito da proa, de 1,89 m.⁴¹ Como consequência de uma modificação no curso de 2° a 4° para um barco com 32m de largura, houve uma modificação de 0,56 a 1,10 m na profundidade. Com esses exemplos, fica claro que o deslocamento vertical é um fenômeno importante quando se deseja obter precisão na determinação da profundidade.

4.4.5 VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DO SOM NA ÁGUA

O ecobatímetro baseia-se na medição do tempo gasto por um sinal sonoro para ir do transmissor ao fundo do mar e desse retornar ao receptor. No levantamento das profundidades são utilizadas as ondas ultrasônicas com frequências entre 12.000 e 200.000 Hz. Possuem a vantagem de serem geradas por pequenos transmissores e a desvantagem de serem absorvidas pela água, sendo necessário utilizar um receptor sensível.

A velocidade de propagação do som na água é função da temperatura, da salinidade e da pressão da água. Essa velocidade pode ser obtida por medições diretas (p.ex.: velocímetro), pelo cálculo a partir das medições desses parâmetros ou deduzida por métodos indiretos (p.ex.: comparação com a barra de calibragem).

Os ecobatímetros atuais permitem a introdução e o ajustamento da velocidade durante o levantamento, evitando a introdução de um erro sistemático, na obtenção da profundidade.

Geralmente, encontra-se junto as especificações técnicas do ecobatímetro os valores tabelados das velocidades de propagação do som na água em função destes parâmetros da água (temperatura, salinidade e pressão).

4.4.6 A INFLUÊNCIA DE TODAS AS GRANDEZAS NA PRECISÃO DA PROFUNDIDADE.

A partir do modelo global das grandezas envolvidas (figura 25), observa-se que a influência na precisão do posicionamento sobre a precisão da profundidade pode ser representada pela transferência geométrica da altura, bem como pelo erro de sincronização.

⁴¹ Segundo ANDREE (1995)

Dessa forma, renuncia-se a uma representação independente dessas influências. Em consequência, há uma equação que permite o cálculo do erro, o qual resulta na combinação da localização com um ou outro ponto do levantamento ecobatimétrico. O resultado dessa combinação fornece uma profundidade T_g medida em um ponto falso.

A altura verdadeira do terreno obtida pelo levantamento ecobatimétrico sobre o ecobatímetro é expressa pela equação (4.12), e a altura sobre a antena GPS é representada pela equação (4.13):

$$H_F'' = H_E - T_w \quad (4.12),$$

$$\begin{aligned} H_F' &= H_E - T_w - dH_\gamma \\ &= (H_o' - dH + dh) - (T_g + dT_N) - dH_\gamma \\ &= (H_o + dH_{\text{vSYNC}} + dH_{\text{vORT}} - dH + dh) - (T_g + dT_N) - dH_\gamma. \end{aligned} \quad (4.13),$$

A altura real do terreno no momento do posicionamento GPS é expressa pela equação (4.14):

$$H_F = H_E - (T_g + dT_N) - dH_\gamma + dH_{\text{hSYNC}} + dH_{\text{hORT}} \quad (4.14).$$

Emprega-se a lei de propagação dos erros nas equações a fim de se obter uma proporção na precisão da altura medida. Ainda, deve-se, no cálculo, trabalhar com condições de contorno, segundo WIRTH (1993). As condições de contorno adotadas para os diferentes âmbitos (costa e navegação interna) estão indicadas na tabela 13.

TABELA 13 - CONDIÇÕES DE CONTORNO PARA OS DIFERENTES ÂMBITOS
(Fonte: WIRTH, 1993)

VARIÁVEL	SIMBOLOGIA	NAVEGAÇÃO INTERNA	COSTA
ALTURA DA ANTENA	dH	4 m	10 m
VELOCIDADE VERTICAL	v_v	0,5 m/s	0,5 m/s
VELOCIDADE HORIZONTAL	v_h	2,0 m/s	5,0m/s
ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DA EMBARCAÇÃO	γ	$\pm 3^\circ$	$\pm 3^\circ$
ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DO TERRENO	α	$-20 \geq \alpha \leq 20^\circ$	$-10 \geq \alpha \leq 10^\circ$
PROFUNDIDADE	T_g	3 m	20 m
BESCHICKUNG SOBRE O NÍVEL DA ÁGUA	σH_E	$\pm 0,12$ m	$\pm 0,15$ m

4.5 CONCLUSÃO

Quando se utiliza o sistema GPS para o posicionamento tridimensional da embarcação, a ordenação das profundidades (*Beschickung*) e o deslocamento vertical (*Squat*) não são fatores problemáticos, pois o sistema GPS funciona como um sistema independente. Nesse caso se faz necessário o perfeito conhecimento da posição da antena na embarcação e o ângulo de inclinação da embarcação.

Ao se utilizar o sistema GPS apenas para o posicionamento bidimensional da embarcação e o sistema ecobatimétrico para determinar as profundidades, faz-se necessário observar a ordenação das profundidades e o deslocamento vertical da embarcação.

O tempo de sincronismo entre os sensores é um dos fatores mais preocupantes nos levantamentos hidrográficos. Ele, está diretamente ligado a velocidade da embarcação. Para uma precisão decimétrica, o tempo de sincronismo (GPS/Ecobatímetro) deve ser inferior a 0,1 segundos. Quando da utilização de vários sensores, é ideal trabalhar-se com um tempo de referência.

Verifica-se que a utilização do GPS na determinação direta da ordenação das profundidades (*Beschickung*) tem sido de grande valia e tem alcançado uma precisão igual ou melhor a 10 cm. Dessa forma, ele passa a ser um sério competidor com os demais métodos descritos em 4.4.3.

É interessante e viável procurar eliminar-se todas as fontes de erros a fim de se alcançar no mínimo a precisão estabelecida pela OHI.

5. LEVANTAMENTO NO MAR DO NORTE

5.1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO DA INVESTIGAÇÃO

Na República Federal da Alemanha, muitos são os trabalhos e as investigações realizados na área de posicionamento da embarcação no âmbito marinho, em tempo real e em pós-processamento, bem como na área de levantamentos ecobatimétricos em conjunto com o Sistema de Posicionamento Global (GPS).

Alguns projetos têm sido desenvolvidos pelo *Institut für Erdmessung* - IfE - em conjunto com *Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie*- BSH -, localizado em Hamburg. Essa é uma instituição federal para tarefas marítimas, e é subordinada ao Ministério Federal dos Transportes. Os principais objetivos dessa instituição são:

- exercício de navegação, de uma forma geral, como as questões dos direitos das embarcações de levantamento e a fiscalização técnica sobre as embarcações e as exigências de navegação;
- verificação e autorização de instrumentos de navegação e armamentos da embarcação;
- levantamentos marítimos e busca de destroços de navios afundados, restituição de cartas oficiais e publicações náuticas;
- pesquisa oceanográfica para a melhoria do conhecimento dos oceanos;
- serviços náuticos e hidrográficos, como avaliações das marés, serviços de prevenção do nível d'água e de inundações, serviços de informação glacial e do magnetismo terrestre;
- avaliação das questões de poluição dos mares, em especial da fiscalização das águas oceânicas, por exemplo, quanto à radioatividade;
- exigências de navegação e pesca por meio das ciências naturais e técnicas de investigações náuticas.

Para desenvolver todo esse trabalho nos mares, o BSH conta com 7 embarcações: *GAUSS* (navio oceanográfico), *KOMET* (navio oceanográfico e de levantamento), *ATAIR* e *WEGA* (navios oceanográficos, de levantamentos e procura de destroços), *CARL FR. GAUSS* (navio de levantamentos), *DENEB* (navio de levantamentos e de procura de destroços) e *MERCATOR/BESSEL* (navio de levantamentos contínuos).

No período de 24 a 28 de abril de 1995, foram realizados levantamentos no Mar do Norte, a bordo do navio *WEGA* (ver seção 5.3.1). As finalidades eram determinar o posicionamento e controle de atitude de embarcação, bem como a navegação em tempo real através do Sistema de Posicionamento Global (GPS). Dentre as principais metas a serem alcançadas, estavam:

- verificar no levantamento cinemático GPS, a capacidade de solução PDGPS para grandes distâncias. Procura-se, com o PDGPS, determinar uma trajetória com precisão da ordem do centímetro ao decímetro;
- obter a solução DGPS para grandes distâncias (300 km);
- realizar experiências com o programa GNRT-K;
- determinar a orientação e controle de atitude do barco; e
- comparar a linimetria obtida com o GPS com os dados já existentes na área.

No presente trabalho, analisa-se os dados coletados no dia 26.04.1995, em duas estações de referência distintas: uma situada longínqua (aproximadamente 226 km) da estação móvel e outra situada na proximidade dessa estação móvel (aproximadamente 27 km).

O objetivo desta investigação é verificar e comparar as soluções PDGPS obtidas para a estação de referência situada em Hannover (MSD8) com a estação móvel (ASBM) e para a estação de referência situada em Helgoland (HELG) com a estação móvel (ASBM). No processamento dessas soluções utiliza-se o programa científico GEONAP (ver seção 2.8.1) e aplica-se diversas opções fornecidas por ele, buscando alcançar a melhor solução. A solução obtida pela base de 27 km será admitida como a mais precisa no posicionamento da embarcação e possibilitará a comparação com as soluções geradas pela base de 226 km, fornecendo boas informações quanto a precisão dessas.

5.2 SISTEMA DE REFERÊNCIA PARA A COSTA DO MAR DO NORTE

Nos ambientes marinho e hidrográfico é necessário o conhecimento de diferentes sistemas de referência planimétricos e altimétricos, seja: *Seekartennull* (SKN), *Pegelnnull* (PN), *Normal-Null* (NN) e o *WGS84*.

Desde 1879, a principal rede altimétrica da Alemanha (DHHN) diz respeito à superfície de nível passante pelo ponto de cota zero (*Normalnullpunkt*), com significado para a superfície

Normalnull (NN) (ver seção 4.2). Esse ponto encontra-se a 37,000 m abaixo do antigo observatório astronômico de Berlin, denominado de *Normalhöhenpunkt* (NH). Na seção 4.2 fez-se referência aos sistemas de altitude; porém, os mais utilizados nos levantamentos desenvolvidos no Mar do Norte são os seguintes: *Normalnull* (NN) e *Seekartennull* (SKN) (ver seção 4.2 e 4.4.3). A altitude foi obtida através de um nivelamento a partir do marégrafo de Amsterdã (TORGE, 1975). Com a demolição desse observatório em 1912, o ponto NH foi transferido para um local a cerca de 40 km a leste de Berlin. Segundo PIJAROWSKI (1984), a NN da DHHN situa-se a cerca de 14,4 cm acima do nível médio do marégrafo de Amsterdã, o qual, no século passado, foi modelado a partir de um grande número de observações, e também apresenta valores médios de boa qualidade para as baixa-mares e alta-mares. Todas as marés medidas na costa do Mar do Norte da Alemanha estão conectadas ao DHHN, sendo, então as altitudes denominadas normais/ortométricas, estando referidas à superfície designada de *Normalnull*.

A *Seekartennull* é o nível zero dos mapas de navegação; é utilizada como uma superfície de referência para os levantamentos topográficos do relevo submarino e da área de planície de maré. Nas águas livres de marés, como na parte alemã do Mar Báltico, emprega-se a NN como a *Kartennull*. Porém, nas regiões com marés, na baía alemã, o nível d'água diminuirá para as baixa-mares abaixo dessa marca. Logo, a média das baixa-mares de sizígia (MSpNW) do local presta-se como uma boa SKN. Essa resulta da desigualdade quinzenal do valor mais negativo em baixa-mar (NWH) sobre o valor médio da baixa-mar (MNWH). Para o cálculo dessa desigualdade, deve-se ter em mãos as observações maregráficas de alguns anos. A fixação da média das baixa-mares de sizígia do local é fortemente dependente da diferença entre as marés locais alta e baixa. Quanto maior for essa diferença, tanto mais profunda é a *Seekartennull*. Também há a influência do relevo submarino e das correntes. No âmbito da costa do Mar do Norte para List, o MSpNW é 1,14 m abaixo do NN, e, para Wilhelmshaven, é de 2,30 m abaixo da NN. A SKN é uma superfície que está sempre em modificação, de poucos centímetros, e é determinada anualmente pelos marégrafos existentes no âmbito da costa. Uma carta com SKN bem determinada é a segurança para as embarcações.

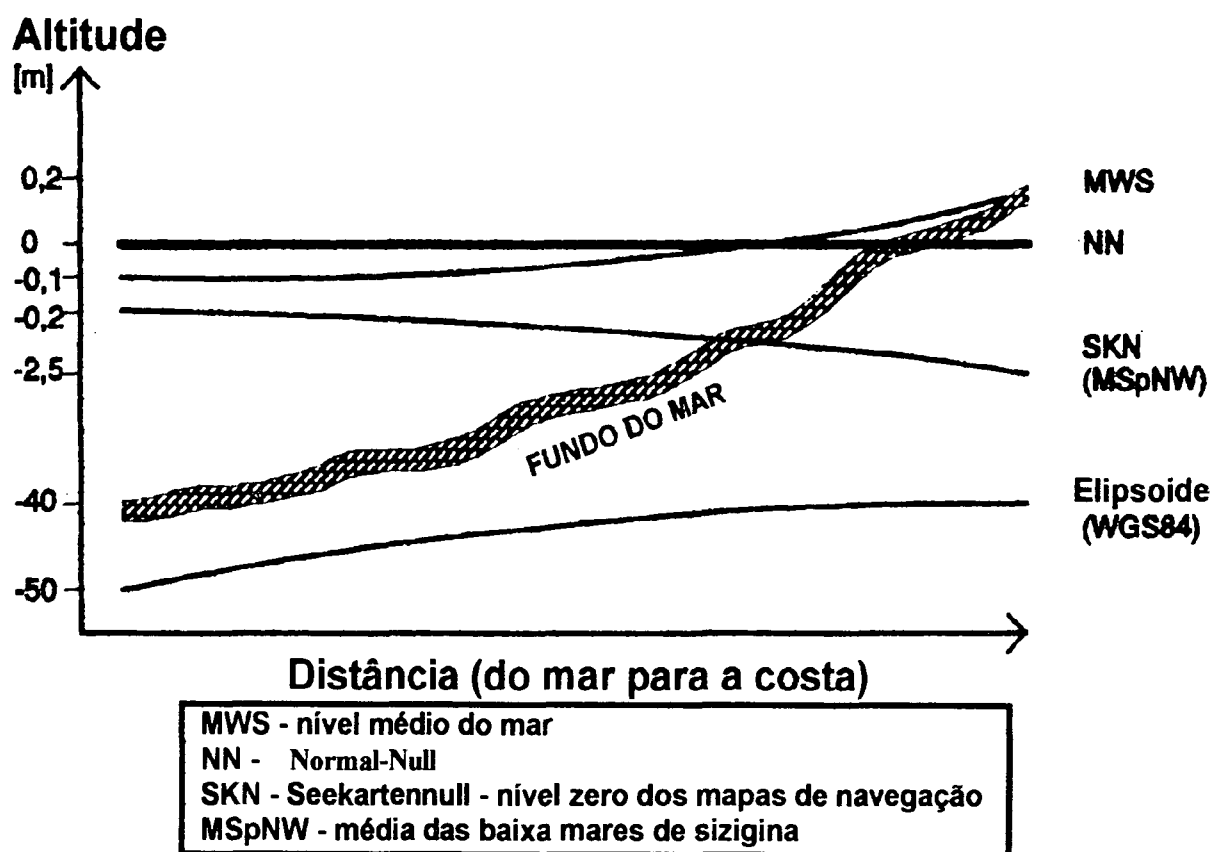
Utiliza-se o *Pegelnull* para as observações do nível d'água em marégrafos estabelecidos. Esse é fixado a 5,00 m abaixo do NN ($PN = NN - 5,00 \text{ m}$), a fim de se evitar um nível d'água negativo.

Segundo GOLDAN (1994), o marégrafo mais importante em mar aberto está localizado na ilha de Helgoland, na baía alemã, situada a cerca de 55 km do continente. Nessa ilha, o sistema de referência altimétrico local refere-se a *Helgoland Null*. Este situa-se, segundo GOLDAN (1995), a cerca de 23,3 cm acima da NN.

Conforme a seção 4.3, o sistema de referência elipsoidal WGS84 é um sistema global e geocêntrico, a partir do qual se obtém a altitude elipsoidal. Ele é utilizado no GPS.

A figura 34 representa esses diferentes níveis de referência altimétricos no âmbito da costa do Mar do Norte.⁴²

FIGURA 34 - NÍVEIS DE REFERÊNCIA ALTIMÉTRICOS- MAR DO NORTE
(Fonte: BÖDER, 1994)



⁴² Para maiores detalhes consultar PIJAROWSKI (1984), BÖDER (1994), GOLDAN et al. (1994) e GOLDAN (1995).

5.3 LEVANTAMENTO DE CAMPO

5.3.1 EQUIPAMENTOS

No presente levantamento, foram utilizados os equipamentos relacionados a seguir:

- 4 receptores GPS do tipo *Ashtech Z-XII* e
- 4 computadores.

Na seqüência comenta-se as principais características desses equipamentos.

•Receptores *Ashtech Z-XII*

Esses receptores são geodésicos (ver seção 2.7) e apresentam as seguintes características principais: operam com 12 canais, possuem portadoras L_1 e L_2 com comprimento de onda completo e aplicam a técnica de *P-W Tracking*. A esses receptores foram acoplados antenas geodésicas de dupla frequências.

•Computadores

Foram utilizados computadores 486 portáteis com a finalidade de descarga automática dos dados, pois é grande o volume de dados em um levantamento cinemático.

Além desses equipamentos, contou-se com o mais importante para o levantamento marinho, a embarcação *WEGA*. Como se citou na seção 5.1, esse navio é uma embarcação oceanográfica, de levantamentos e detecção de destroços de navios afundados, tendo como tarefas:

- levantamentos e investigações marítimas e busca de destroços de navios no âmbito do Mar do Norte e no Mar Báltico do continente alemão;
- verificação de modelos de prova de técnica/náutica;
- pesquisas oceanográficas;
- fiscalização das substâncias físicas e químicas nas águas marítimas e nos sedimentos.⁴³

⁴³ Maiores detalhes técnicos sobre esta embarcação podem ser encontrados no anexo 01 e em artigos técnicos do Instituto Federal para o Conhecimento das Águas (BfG).

5.3.2. ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA

Nesse levantamento, foram utilizados os dados coletados em 3 estações de referência, sendo 2 situadas em Hannover e uma na ilha de Helgoland (ver figura 35).

A estação de referência (0030), situada em Hannover, foi instalada no telhado do edifício do Instituto de Cartografia dessa cidade, que se situa em torno de 220 km de Cuxhaven e aproximadamente 285 km de Helgoland. Essa é uma estação permanente (HPPS) da Secretaria de Geodésia e Levantamentos (Niedersachsen) (ver seção 3.3). A taxa de coleta dos dados é de 1 s e as correções são enviadas aos usuários através da faixa de 2 m no formato RTCM++. As coordenadas dessa estação encontram-se na tabela 14.

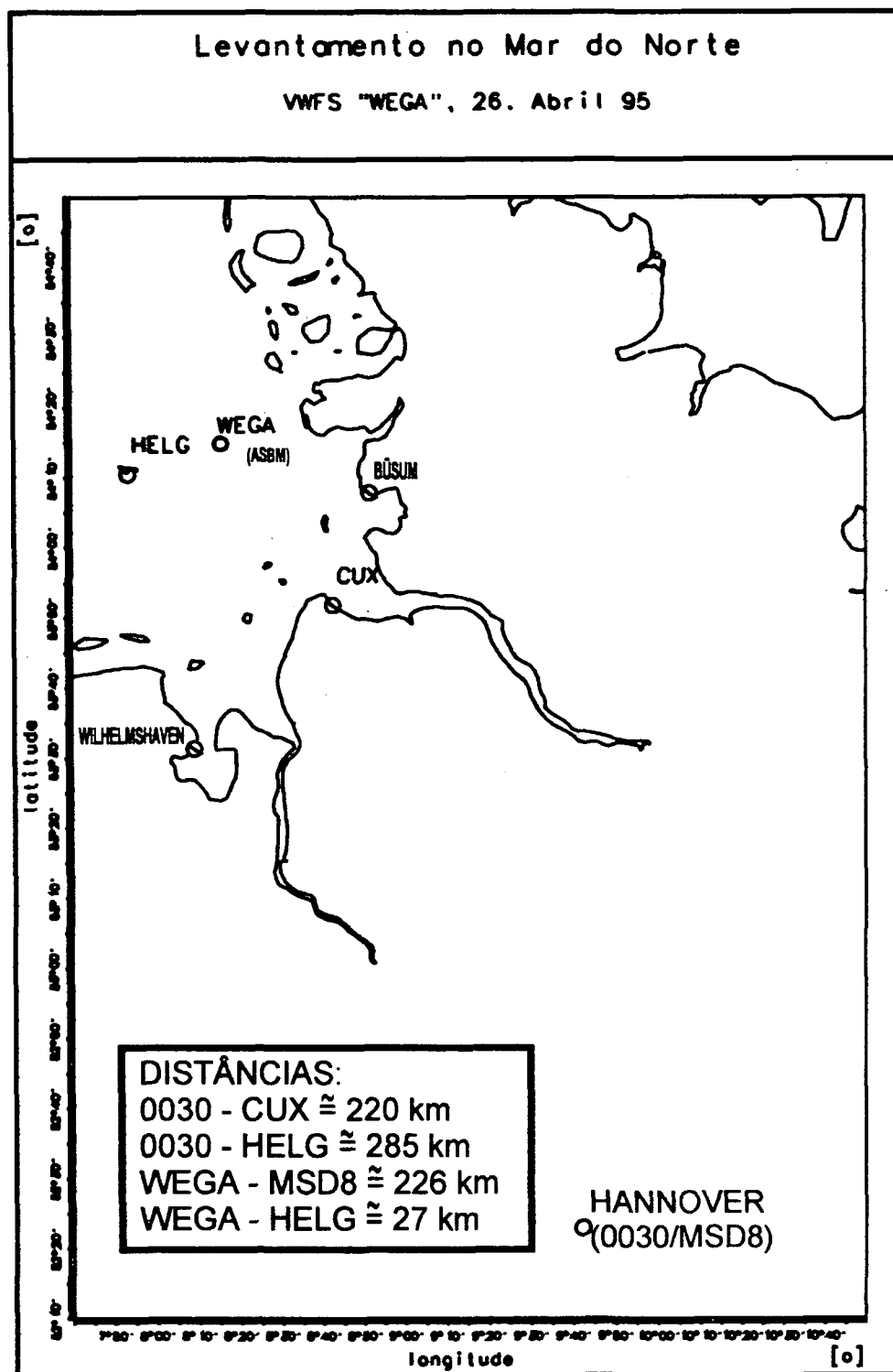
A estação de referência (HELG), situada na ilha de Helgoland, foi instalada no ponto TP72, sendo as suas coordenadas obtidas a partir do levantamento realizado em 24/04/95. Utilizou-se, como ponto de coordenadas conhecidas para a linha de base, um ponto de uma campanha (PEHE) realizada nessa ilha, ligando a altitude em Helgoland com o continente, e foi desenvolvida pelo IfE (GOLDAN 1995). A taxa de coleta de dados empregada foi de 2s.

Ainda foi instalada em Hannover outra estação de referência (MSD8), a qual se localiza no telhado da universidade. Nessa, a taxa de coleta de dados foi de 1s, e as coordenadas foram determinadas após o pós-processamento dos dados (ver seção 5.4.1).

TABELA 14-. COORDENADAS DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA NO WGS84

<i>ESTAÇÃO</i>	<i>LATITUDE</i>	<i>LONGITUDE</i>	<i>ALTITUDE</i>
0030	52 ° 22 ' 16.3756 "	09 ° 44 ' 46.5972 "	120,232 m
HELG	54 ° 10 ' 41.3670 "	07 ° 53 ' 13.5665 "	72,896 m

FIGURA 35 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA E DA EMBARCAÇÃO WEGA
(Elaborada por BÖDER - IfE, 1996)



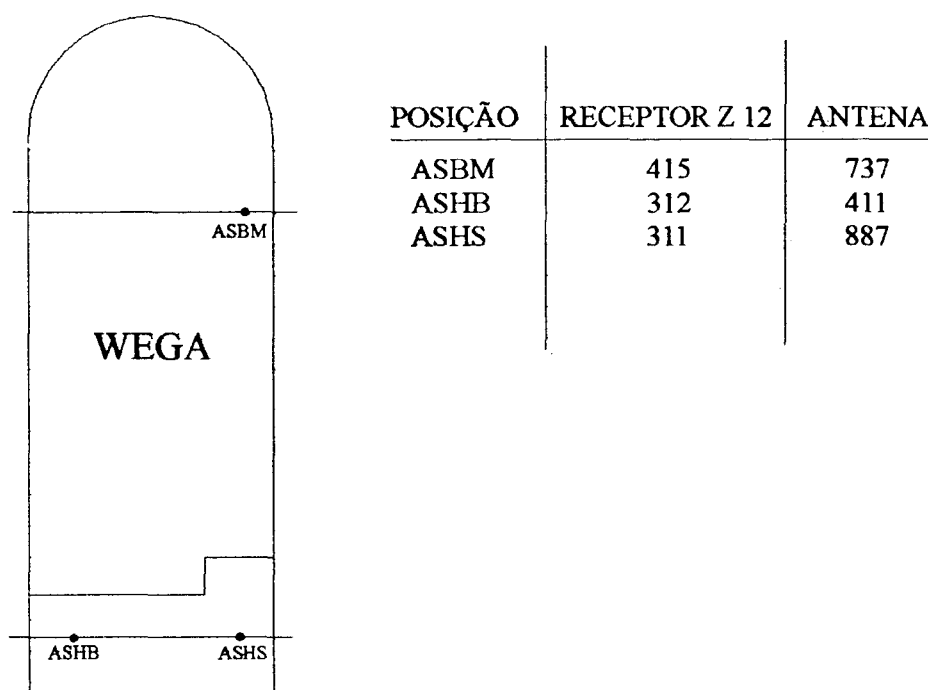
5.3.3 ESTAÇÕES MÓVEIS

As estações móveis constituem-se em 3 receptores *Ashtech Z-XII* instalados na embarcação *WEGA*, conforme esquematizado na figura 36. De acordo com a instalação das antenas geodésicas tem-se :

- ASBM situado no mastro da proa;
- ASHB situado a bombordo da popa do *WEGA*; e
- ASHS situado a estibordo da popa do *WEGA*.

Essas estações operaram com uma taxa de coleta de dados de 2 s e com uma descarga dos dados em tempo real nos computadores descritos na seção 5.3.1.

FIGURA 36 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES MÓVEIS NA EMBARCAÇÃO

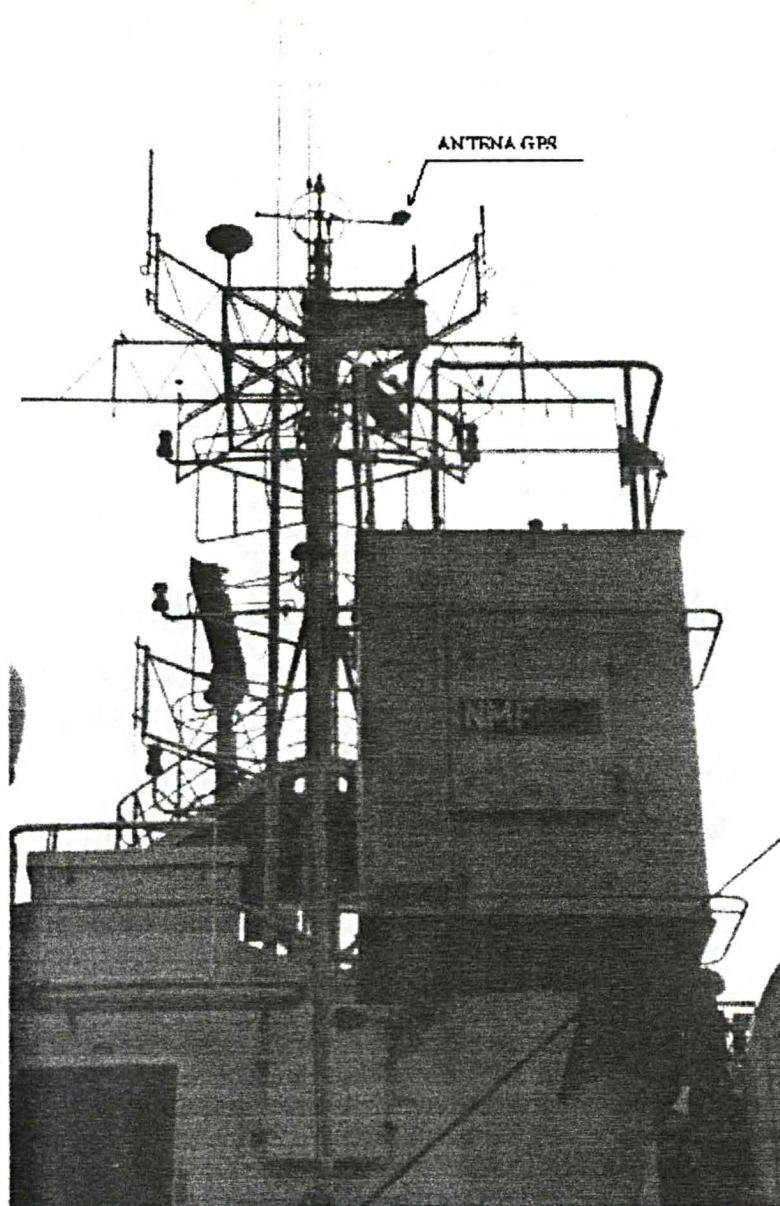


5.3.4 METODOLOGIA

Como se citou anteriormente, esse levantamento desenvolveu-se no Mar do Norte. Partiu-se de Cuxhaven (CUX) em direção à ilha de Helgoland (HELG) e à ilha de Büsum (ver figura 35).

No presente trabalho, analisa-se apenas os dados coletados no dia 26.04.95 pela estação móvel ASBM, operando com uma taxa de coleta de dados igual a 2 s como descrito em 5.3.3. Nesse período de levantamento, estavam operando as 3 estações de referência descritas na seção 5.3.2. Na respectiva data, o navio *WEGA* realizou perfis de sondagem na baía de Helgoland. Observa-se, na figura 35, a respectiva área de levantamento, bem como a rota descrita pelo navio *WEGA* quando da realização desses perfis. A posição da antena ASBM é indicada na figura 37.

FIGURA 37 - POSIÇÃO DA ANTENA ASBM NO NAVIO *WEGA*



5.4 PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Os dados coletados, conforme descrito na seção 5.3.4, foram processados utilizando-se o programa GEONAP-K (ver seção 2.8.1). Realizou-se, inicialmente, o pós-processamento para os dados estáticos (linhas de base: LB1 e LB2) e, posteriormente, para os dados cinemáticos (trajetória descrita pela embarcação WEGA: BC e BL). Nas tabelas 15 e 16 tem-se essas linhas de base e a trajetória descrita pela embarcação para as estações de referência (HELG e MSD8), respectivamente.

TABELA 15 - LINHAS DE BASE (DADOS ESTÁTICOS)

<i>LINHA DE BASE</i>	<i>ESTAÇÕES</i>	<i>DISTÂNCIA APROXIMADA ENTRE AS ESTAÇÕES (km)</i>
LB1	0030 (Hannover) e MSD8 (Hannover)	2,8
LB2	MSD8 (Hannover) e HELG (Helgoland)	235

TABELA 16 - TRAJETÓRIAS DESCRITAS PELO WEGA (DADOS CINEMÁTICOS)

<i>TRAJETÓRIA</i>	<i>ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA</i>	<i>ESTAÇÃO MÓVEL</i>	<i>DISTÂNCIA MÉDIA APROXIMADA ENTRE AS ESTAÇÕES (km)</i>
BC	HELG (Helgoland)	ASBM (Mar do Norte)	27
BL	MSD8 (Hannover)	ASBM (Mar do Norte)	226

5.4.1 OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DAS ESTAÇÕES MSD8 E HELG

A linha de base processada (LB1) constituiu-se das estações 0030 e MSD8, já descritas nas seções 5.3.2 e 5.3.3, distantes entre si em cerca de 2,8 km (tabela 15) e localizadas na cidade de Hannover. Na tabela 17 observam-se as coordenadas obtidas, após o pós-processamento para o ponto MSD8 no sistema WGS84.

TABELA 17 - COORDENADAS DE MSD8 NO SISTEMA WGS84

<i>ESTAÇÃO</i>	<i>LATITUDE</i>	<i>LONGITUDE</i>	<i>ALTITUDE</i>
MSD8	52 ° 23 ' 08.2970 "	09 ° 42 ' 43.6168 "	113.392 m

Posteriormente, procedeu-se ao processamento das coordenadas da estação HELG a partir das coordenadas conhecidas da estação MSD8, linha de base LB2. Essas estações distam entre si em cerca de 235 km. No presente caso, utiliza-se o programa GEONAP-K (ver seção 2.8.1), que emprega o modelo troposférico *Hopfield-Black*, inclui-se o fator de escala troposférico e as efemérides precisas fornecidas pelo GIBS (ver seção 3.3), em virtude da longa distância que separa as duas estações. Dessa forma, obtiveram-se para a estação HELG, as coordenadas indicadas na tabela 18.

TABELA 18 - COORDENADAS DE HELG NO SISTEMA WGS84

<i>ESTAÇÃO</i>	<i>LATITUDE</i>	<i>LONGITUDE</i>	<i>ALTITUDE</i>
HELG	54 ° 10 ' 41.3664 "	07 ° 53 ' 13.5660 "	72.834 m

Comparando-se as coordenadas da estação HELG obtidas pelo rastreo de 24/04/95 (ver seção 5.3.2 - tabela 14) e as coordenadas indicadas na tabela 18, obtiveram-se as seguintes diferenças em latitude (ϕ), longitude (λ) e altitude (h):

$$d\phi = 0.000590'' = 0.018 \text{ m};$$

$$d\lambda = 0.00049'' = 0.015 \text{ m}; \text{ e}$$

$$dh = 0.062 \text{ m}.$$

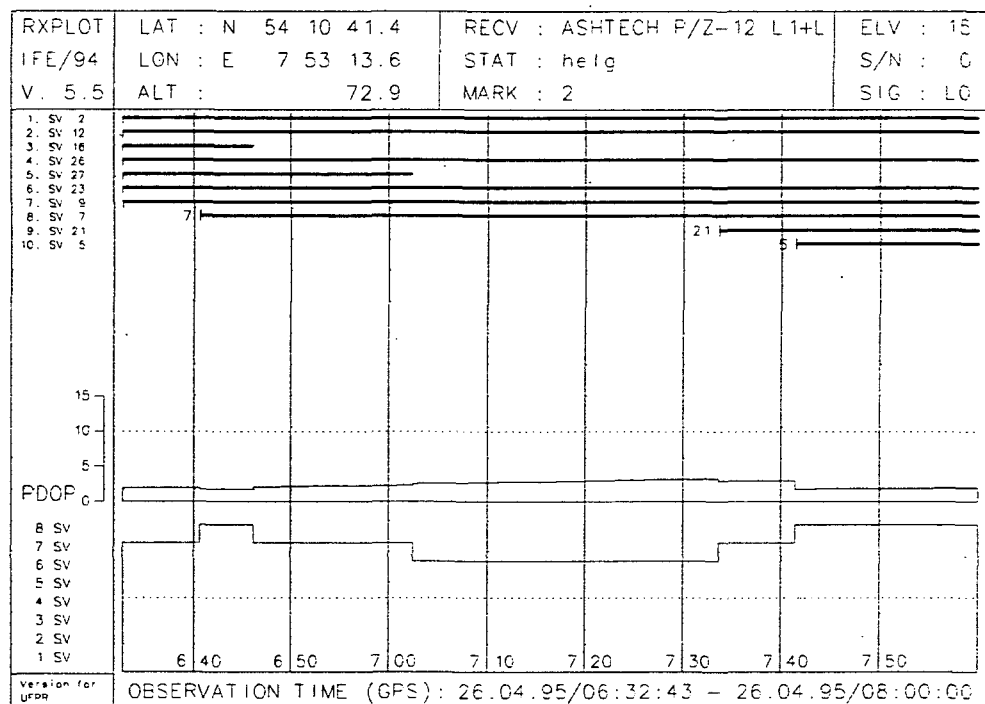
As coordenadas obtidas para o ponto HELG provém do pós-processamento dos dados com o programa GEONAP-K e foram alcançadas a partir do processamento de uma linha de base. Para o respectivo trabalho, optou-se pelas coordenadas obtidas a partir do rastreo do dia 24.04.95, ou seja, as coordenadas citadas na tabela 14.

5.4.2 CONSTELAÇÃO DE SATÉLITES PARA AS ESTAÇÕES EM 26.04.95

Com os dados coletados no campo e utilizando o programa RXPLOT desenvolvido pelo IfE, puderam ser obtidas informações sobre o número de perdas de ciclos ocorridas nas estações de referência e na móvel, sobre o número de satélites presentes durante o rastreo e sobre o PDOP. Utilizou-se dados com elevação superior a 15 °, uma relação sinal/ruído igual a 0 (sinal/ruído: livre) e o sinal obtido para a observável fundamental L₀.

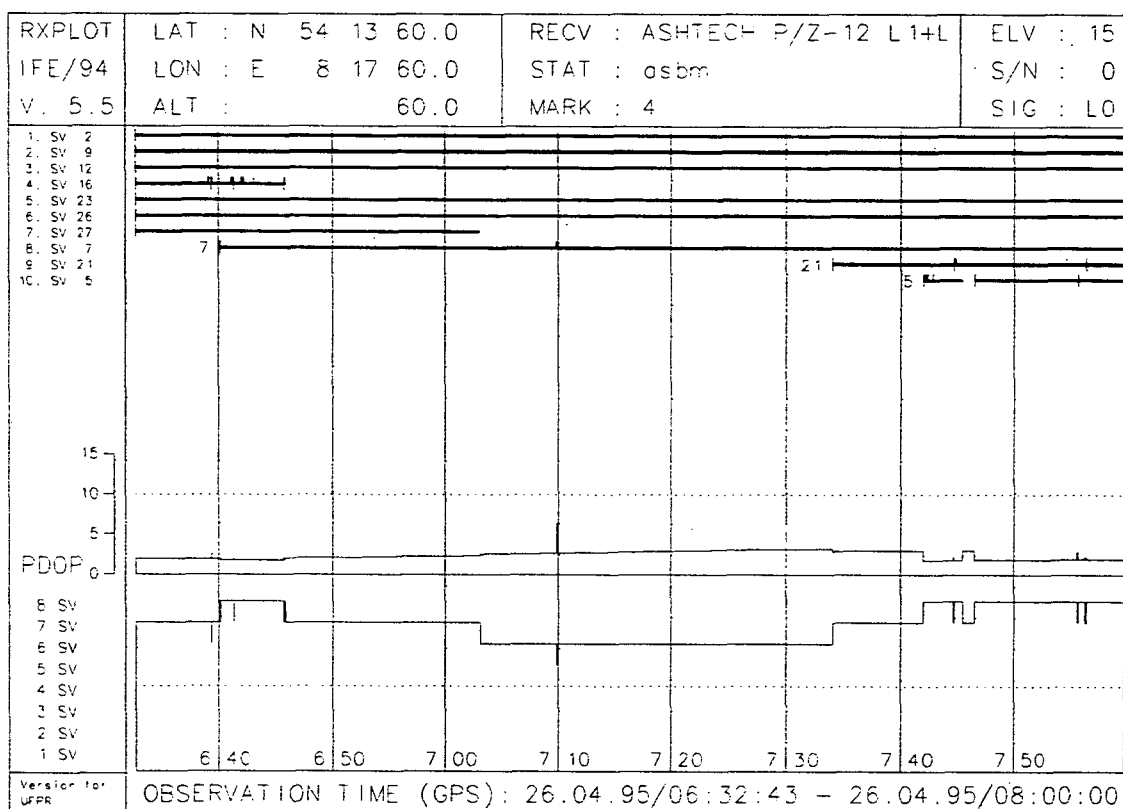
Observa-se que, para as estações de referência, não há qualquer perda de sinal durante o período de observação; têm-se pequenos intervalos de tempo com apenas 5 satélites, mas na maioria do tempo conta-se com não menos que 6 satélites; o PDOP é em grande parte não inferior a 3, sendo não superior, no pior dos casos, a 5. Os RXPLOT's para as estações MSD8 e 0030, situadas em Hannover, podem ser observados no anexo 02 (gráficos 2.1 e 2.2, respectivamente). O gráfico 01 representa o RXPLOT para a estação HELG, situada na ilha de Helgoland.

GRÁFICO 01 - VISIBILIDADE DOS SATÉLITES E INFORMAÇÕES SOBRE AS PERDAS DE CICLOS E SOBRE O PDOP EM HELG.



Para a estação móvel (ASBM - embarcação *WEGA*), obteve-se o gráfico. 02, no qual se pode observar que houve poucas perdas de sinal (principalmente satélites 05, 16 e 21), as quais não conduziram a PDOP's elevados. Ele manteve-se quase que totalmente inferior a 3, só havendo 2 picos. Essa estação contou com uma constelação de satélites não inferior a 6.

GRÁFICO 02 - VISIBILIDADE DOS SATÉLITES E INFORMAÇÕES SOBRE AS PERDAS DE CICLOS E SOBRE O PDOP EM ASBM.



5.4.3 ELEVÇÃO DOS SATÉLITES EM 26.04.1995

Ainda com os dados coletados no campo e com o programa RXPLOT, obteve-se a elevação dos satélites visíveis para cada estação envolvida no levantamento, bem como o número de satélites durante o período de rastreo. Para a obtenção destes gráficos, utilizou-se uma elevação mínima de 15 °, um sinal/ruído igual a 0 e o sinal da observável fundamental L₀.

No anexo 03 pode-se observar os gráficos para as estações MSD8 e 0030 (gráficos 3.1 e 3.2, respectivamente). Para a estação HELG, obteve-se o gráfico 03 e para a estação

móvel ASBM, o gráfico 04. O número máximo de satélites observados nessas estações foi igual a 8, e, por um curto intervalo de tempo, igual a 5 satélites.

GRÁFICO 03 - ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES VISÍVEIS EM HELG.

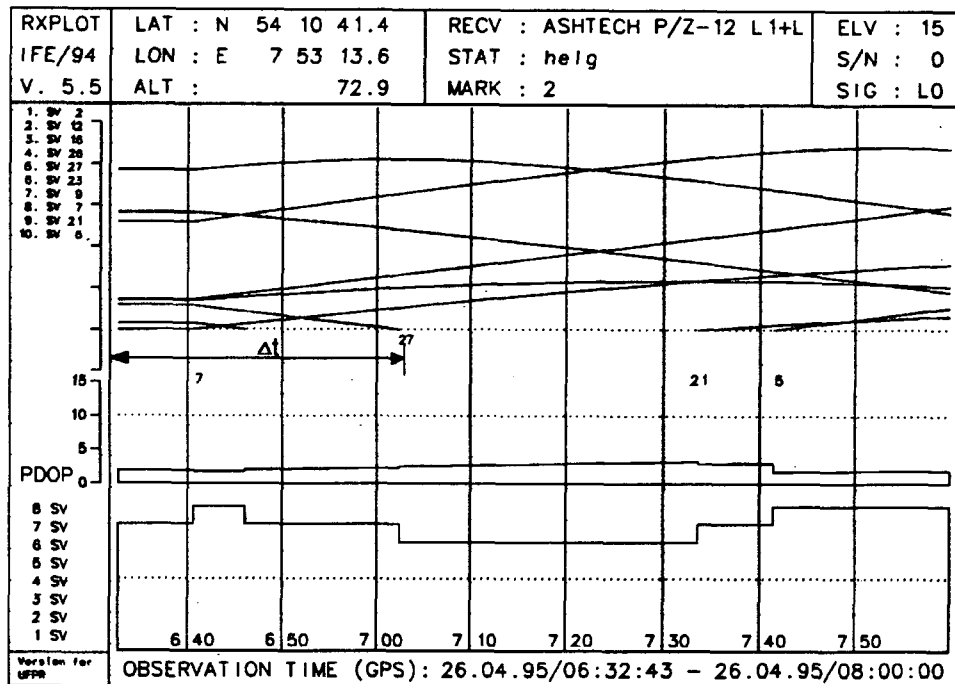
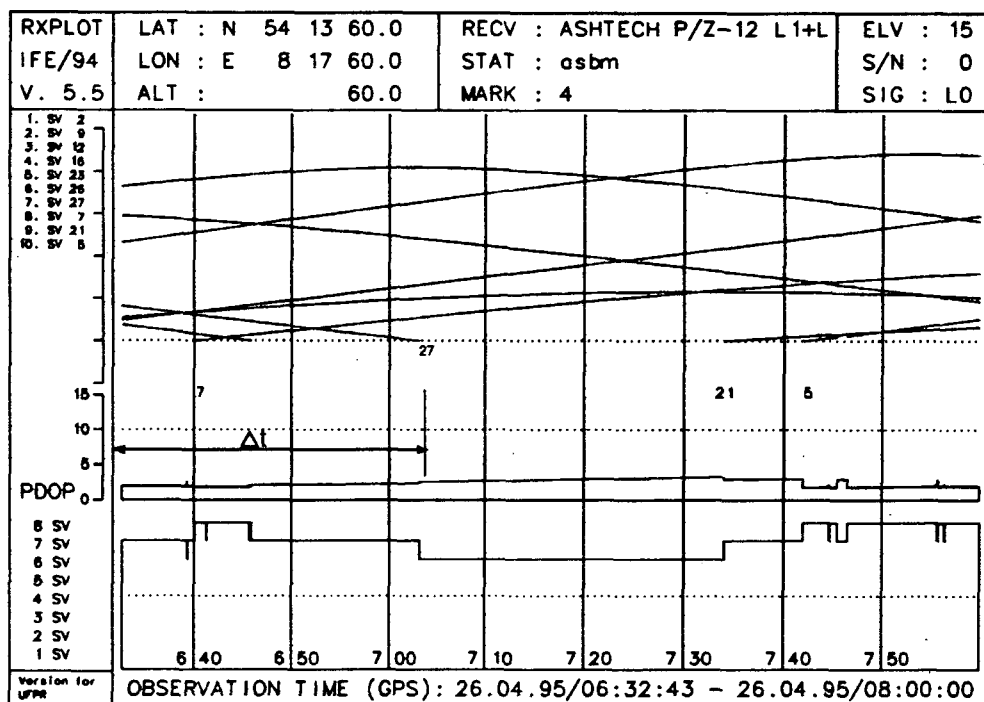


GRÁFICO 04 - ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES VISÍVEIS EM ASBM.



Observa-se que, para as estações de referência (HELG e MSD8) e para a estação móvel (ASBM), há de 4 a 5 satélites com elevação inferior a 30° nos seguintes intervalos de tempo: 6h 32m 43s a 6h 50m e 7h 50m a 8h.

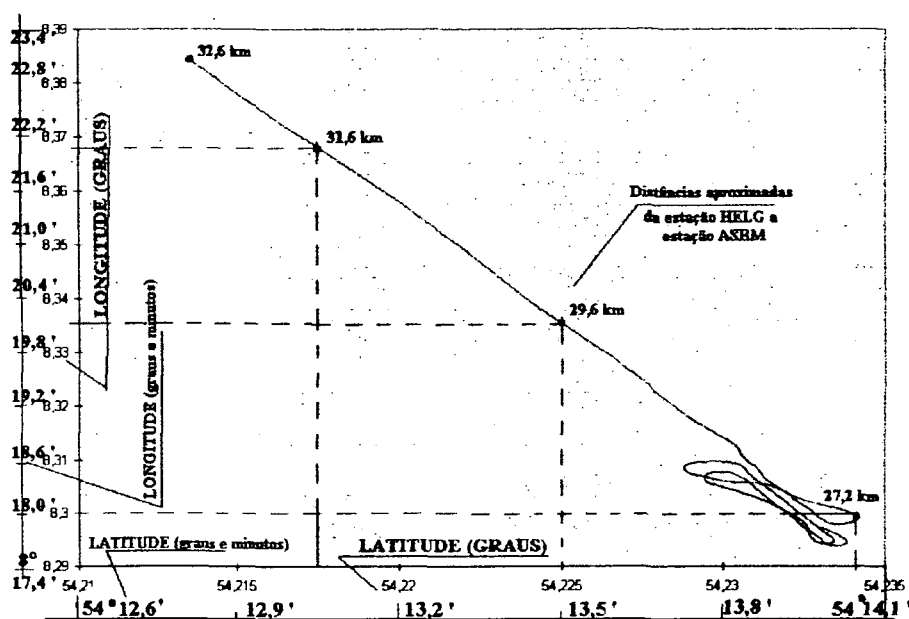
5.4.4 OBTENÇÃO DA TRAJETÓRIA DESCRITA PELO WEGA

De posse dos dados e dos RXPLOT's, passou-se a sua exploração. Como se citou na seção 4.1, o principal objetivo deste trabalho consiste na análise da solução PDGPS para estações de referência distintas. Inicialmente, busca-se obter as soluções para a trajetória descrita pela embarcação (tabela 16), utilizando-se as estações de referência descritas na seção 5.3.2 e procedendo-se a uma análise. Recorreu-se ao pós-processamento dos dados através do programa GEONAP-K (seção 2.8.1).

5.4.4.1 TRAJETÓRIA BC (HELG x ASBM) DESCRITA PELO WEGA

Para as estações HELG e ASBM, trajetória BC, foi utilizada inicialmente as efemérides transmitidas (*Broadcast*) e foi obtida a solução das ambigüidades através da solução +X (ver seção 2.8.1). No gráfico 05 (latitude em função da longitude), observa-se a trajetória descrita pelo WEGA em 26.04.95, das 6 h 32 m 43 s (282.764 segundos GPS) às 8 horas (288.000 segundos GPS).

GRAFICO 05 - TRAJETÓRIA DESCRITA PELO WEGA EM 26.04.95 (HELG x ASBM)



Buscando obter a melhor solução para a trajetória BC, realizaram-se outros processamentos com os dados coletados, utilizando o programa GEONAP, e variando alguns parâmetros. Na tabela 19, observam-se essas soluções. A busca da melhor solução faz-se necessária para uma posterior análise da precisão obtida com a trajetória BL.

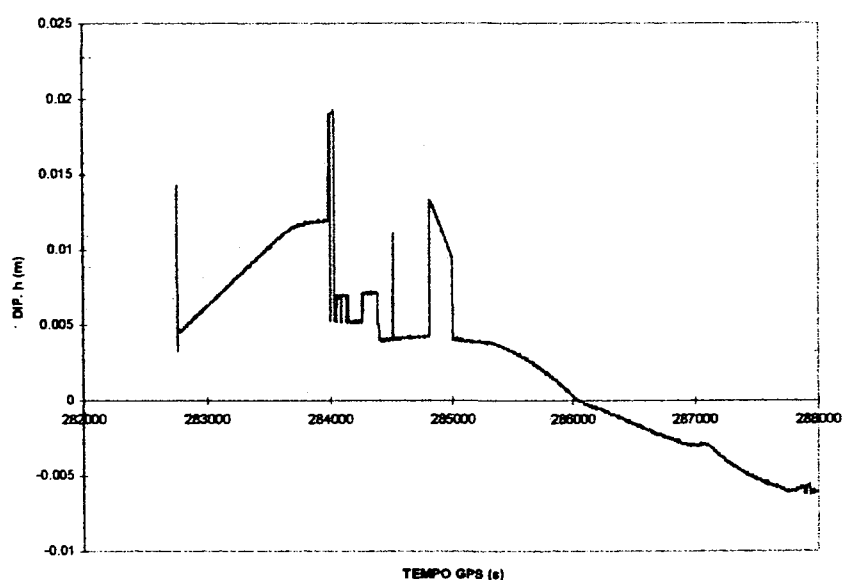
TABELA 19 - SOLUÇÕES DA TRAJETÓRIA BC

<i>SOLUÇÃO</i>	<i>EFEMÉRIDES TRANSMITIDAS</i>	<i>EFEMÉRIDES PRECISAS</i>	<i>FATOR DE ESCALA TROPOSFÉRICO</i>
BC1	SIM	NÃO	NÃO
BC2	SIM	NÃO	SIM
BC3	NÃO	SIM	NÃO
BC4	NÃO	SIM	SIM

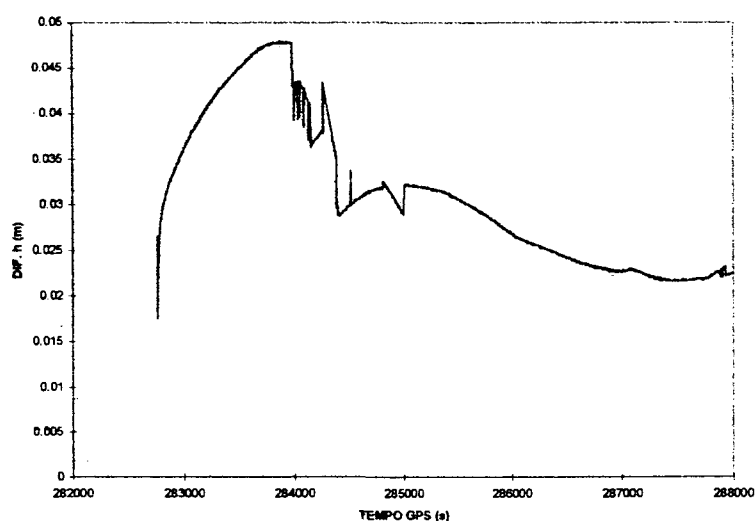
Procedeu-se ao cálculo das diferenças existentes entre as soluções obtidas. Esses cálculos foram realizados com as coordenadas obtidas no sistema terrestre *Gauss-Krüger*⁴⁴, muito utilizado na Alemanha, proporcionando uma melhor análise dos erros na posição. A transformação das coordenadas cartesianas (X,Y,Z) para coordenadas (R,H,h) foi realizada através do módulo de transformação do programa GEONAP (ver seção 2.8.1). O h refere-se a altitude elipsoidal ou geométrica no WGS84.

Inicialmente, analisa-se as diferenças existentes entre as soluções BC1 e BC3. Nessas soluções, através da tabela 19, verifica-se que a diferença entre elas consiste no tipo de efemérides utilizadas (transmitida ou precisa). No anexo 04, observam-se as diferenças obtidas para as coordenadas (R,H). Para R (gráfico 4.1), elas não são superiores a 5 mm, e para H (gráfico 4.2) a 1,2 cm. No gráfico 06, observam-se as diferenças obtidas em h. Nesse, nota-se diferenças não superiores a 2 cm.

⁴⁴ Esse sistema é uma projeção conforme e é semelhante ao sistema UTM. Apresenta uma distorção mínima dos ângulos, nenhuma distorção de escala no meridiano central e zonas de 3°. As coordenadas nesse sistema são bidimensionais e denominam-se *Rechtswert* (R → Leste: E) *Hochwert* (H → Norte: N). Para maiores detalhes consultar HOFMANN-WELLENHOF et al., (1994).

GRÁFICO 06 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC3 - BC1)

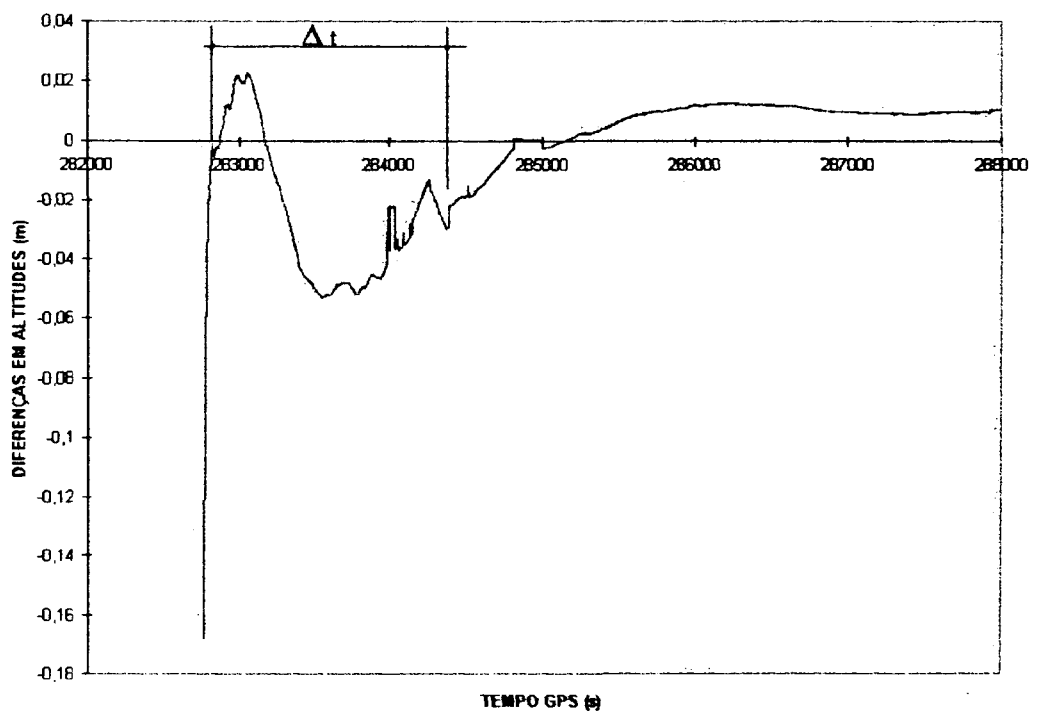
Observa-se pela tabela 19 que as soluções BC2 e BC4 diferem também pelo tipo de efemérides utilizadas (transmitidas ou precisa) e empregam o fator de escala troposférico. As diferenças existentes entre as coordenadas (R,H) geradas por ambas as soluções encontram-se representadas no anexo 05. Para as coordenadas R (gráfico 5.1), há diferenças não significativas, ou seja, da ordem apenas de milímetros. No gráfico 5.2 (anexo 05), as diferenças para as coordenadas H não são superiores a 1,5 cm. Porém, para h, verifica-se diferenças não superiores a 5cm (ver gráfico 07).

GRÁFICO 07 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC2 - BC4)

Procedeu-se ao cálculo das diferenças existentes entre as coordenadas (R,H,h) geradas pelas soluções BC3 e BC4, nelas foram utilizadas as efemérides precisas. A solução BC3, foi obtida sem a aplicação do fator de escala troposférico e a BC4, com a sua utilização (ver tabela 19).

No anexo 06, observam-se as diferenças obtidas para as coordenadas R (gráfico 6.1), que não são superiores a 6 mm. Constata-se, também, que após o tempo GPS 284.500 s, essas diferenças oscilam em torno de 2 mm. Para as coordenadas H (gráfico 6.2) as diferenças também são da ordem de poucos milímetros, sendo inferior a 2 mm após o tempo 285.000 s. No gráfico 08, observa-se as diferenças em h, onde há também diferenças maiores até o tempo de 284.500 s, que são inferiores a 6 cm. Após esse tempo, as diferenças passam a oscilar em torno de 1 cm. Esses gráficos demonstram uma variação maior para o intervalo de tempo (Δt) compreendido entre 282.764 s (6 h 32 m 43 s) a 284.500 s (7 h 01 m 40 s). Através dos gráficos de visibilidade e elevação dos satélites (seção 5.4.3), verifica-se que nesse período há pelo menos 7 satélites presentes no rastreo, porém 4 desses encontram-se a uma elevação inferior a 30 °.

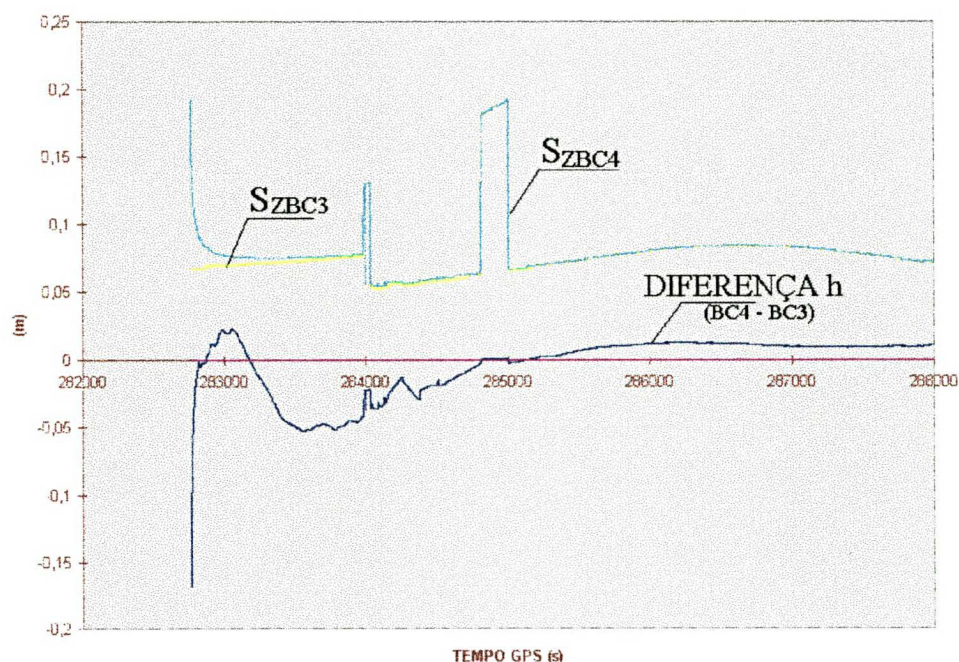
GRÁFICO 08 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC3 - BC4)



Pelas diferenças obtidas até o momento, constata-se que a introdução das efemérides precisas acarreta em pequenas diferenças entre as soluções; contudo, o fator de escala atua diretamente nas diferenças entre as altitudes (ver gráficos 06, 07 e 08). Porém, todas as diferenças foram inferiores a poucos centímetros, no pior dos casos. Considera-se, a partir de então, as soluções com efemérides precisas (BC3 e BC4) as melhores. A viabilidade da introdução ou não do fator de escala na solução será analisada a partir dos desvios padrão obtidos para as soluções BC3 e BC4.

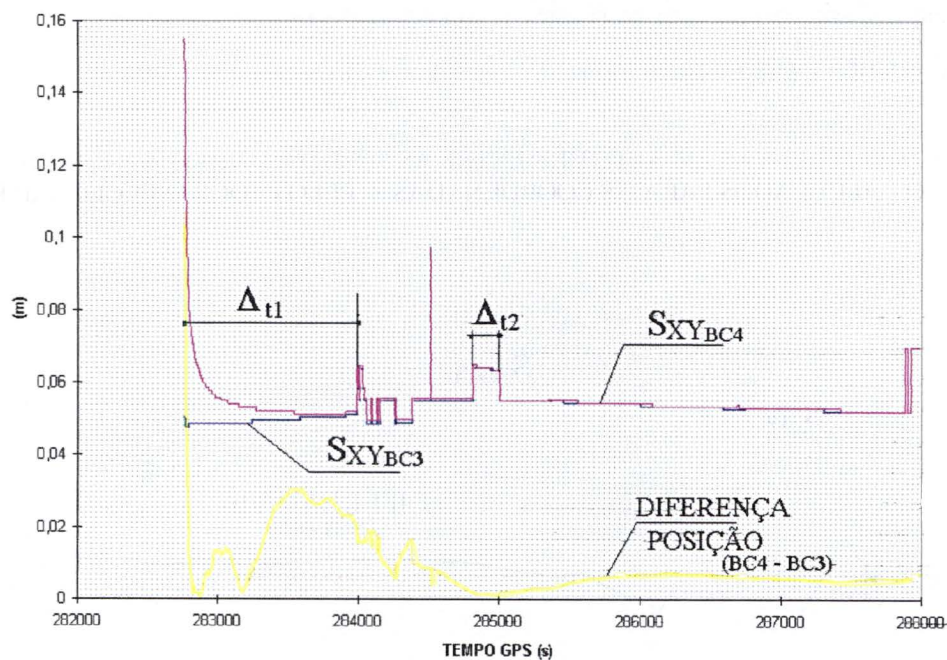
No gráfico 09, está indicado a diferença em altitude obtida entre essas soluções (BC3 e BC4), foram calculadas com o GEONAP-K. Essa diferença, encontra-se entre +2 cm e -6 cm. Observa-se que as diferenças são maiores até o tempo GPS 285.000 s (7 h 10 m) e que após esse tempo elas se estabilizam em torno de um valor médio (1 cm). Também apresentam-se os desvios padrão obtidos para as coordenadas Z, com as soluções BC3 e BC4 e com a utilização do programa GEONAP-K. Verifica-se que elas diferem entre si, de alguns centímetros, no intervalo de tempo compreendido entre 282.763 s a 284.000 s (Δt_1). Ambas as curvas apresentam um pico para o intervalo de tempo GPS, compreendido por 284.825 s a 285.000 s (Δt_2). Nesse intervalo, os valores são inferiores a 20 cm.

GRÁFICO 09- DIFERENÇAS EM ALTITUDE ENTRE AS SOLUÇÕES BC3 E BC4 E OS DESVIOS PADRÃO CALCULADOS PARA AS COORDENADAS Z PELO PROGRAMA GEONAP-K.



Observa-se no gráfico 10, o desvio padrão das posições calculadas (S_{XY}) com o GEONAP-K, para as duas soluções, utilizando-se a estação de referência HELG e a embarcação (ASBM). Indica-se também, a diferença total entre as duas soluções, a qual é inferior a 3 cm. O desvio padrão (S_{XY}) para a solução BC3 (com efemérides precisa e sem fator de escala) e para a solução BC4 (com efemérides precisas e com fator de escala) encontra-se entre 5 e 6 cm, apresentando um pico em 285.000s (valores de 6,5 cm). Nota-se que com a introdução do fator de escala, na solução BC4, há uma elevação dos desvios padrão (ordem de centímetros) com relação a solução BC3, no intervalo de tempo compreendido de 6 h 32 m 43 s (282.763 segundos GPS) as 6 h 45 m (283.500 segundos GPS) (Δt_3). Após esse intervalo, as diferenças também se estabilizam em torno de um valor médio (1 cm).

GRÁFICO 10- DESVIO PADRÃO DAS POSIÇÕES CALCULADAS COM O GEONAP-K, PARA AS SOLUÇÕES BC3 E BC4 E A DIFERENÇA TOTAL ENTRE AS DUAS SOLUÇÕES



Da análise dos gráficos 09 e 10, constata-se que a introdução do fator de escala para a trajetória BC acarreta em diferenças centimétricas entre as soluções BC3 e BC4. Os desvios padrão só apresentam variações centimétricas no período inicial do processamento. Com essas diferenças, não significativas no âmbito marinho, opta-se pela solução dessa trajetória sem o emprego do fator de escala, ou seja a solução BC3. As soluções sem a introdução desse parâmetro são mais estáveis. Nesses gráficos, também se verifica a existência de uma variação entre os tempos 284.800 s e 285.000 s (Δt_2). Nesse período, a embarcação apresentou uma leve mudança no seu azimuth, fato esse que não justifica a sua presença. Com o auxílio dos gráficos de visibilidade e de elevação dos satélites (01 a 04), constata-se a saída do satélite 27, permanecendo 6 satélites com uma geometria razoável. Com a saída desse satélite, nesse período, pode ter ocorrido temporariamente uma falsa resolução de ambigüidade pelo programa. Segundo SEEGER (1993), uma determinação errada das ambigüidades introduzirá erros sistemáticos nas coordenadas a serem determinadas.

5.4.4.2 TRAJETÓRIA BL (MSD8 x ASBM) DESCRITA PELO WEGA

A trajetória BL, foi obtida pelo rastreamento simultâneo nas estações MSD8 (estação de referência) e ASBM (estação móvel). Inicialmente foram utilizadas as efemérides transmitidas e a solução das ambigüidades foi obtida através da solução +X (ver seção 2.8.1). Posteriormente, verifica-se as soluções utilizando as efemérides precisas e aplicando-se ou não o fator de escala troposférico, como já realizado para a trajetória BC. As soluções obtidas estão relacionadas na tabela 20.

TABELA 20 - SOLUÇÕES DA TRAJETÓRIA BL

<i>SOLUÇÃO</i>	<i>EFEMÉRIDES TRANSMITIDAS</i>	<i>EFEMÉRIDES PRECISAS</i>	<i>FATOR DE ESCALA TROPOSFÉRICO</i>
BL1	SIM	NÃO	NÃO
BL2	SIM	NÃO	SIM
BL3	NÃO	SIM	NÃO
BL4	NÃO	SIM	SIM

O cálculo das diferenças existentes entre duas a duas as soluções foram realizadas no sistema *Gauss-Krüger* (ver seção 5.4.4.1), proporcionando uma melhor análise dos erros na posição. A transformação das coordenadas cartesianas (X,Y,Z) para coordenadas (R,H,h) também foi realizada por módulos do programa GEONAP.

Analisa-se, inicialmente, as diferenças existentes entre as soluções BL1 e BL3. Segundo a tabela 20, elas diferem entre si pela utilização das efemérides transmitidas ou precisa. Obtiveram-se os gráficos 11, 12 e 13, respectivamente para as coordenadas R, H e h.

No gráfico 11 (para R), observa-se que as diferenças estão compreendidas no intervalo de - 1,5 cm a + 4 cm. As diferenças obtidas para as coordenadas H, podem ser observadas no gráfico 12. Nesse gráfico, o intervalo de variação foi de + 4 mm a - 11 cm. No gráfico 13, observam-se as diferenças obtidas para as coordenadas h. Elas foram de + 6 cm a - 2,5 cm. As diferenças obtidas para as coordenadas R, H e h foram superiores as obtidas para a trajetória BC (gráficos 4.1, 4.2 e 06), que decorre da distância entre as estações de referência e a móvel (tabela 16). Estando a estação de referência situada a aproximadamente 226 km da estação móvel, o emprego das efemérides precisas torna-se mais representativo na solução, principalmente quando se deseja trabalhar com alta precisão.

GRÁFICO 11 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS R (BL3 - BL1)

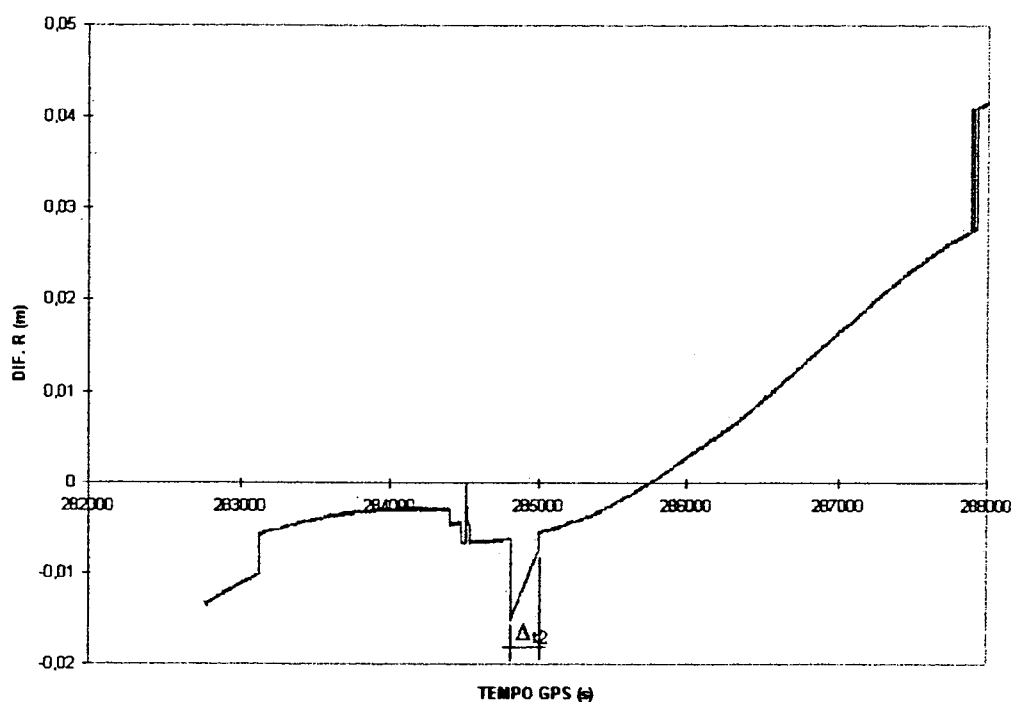
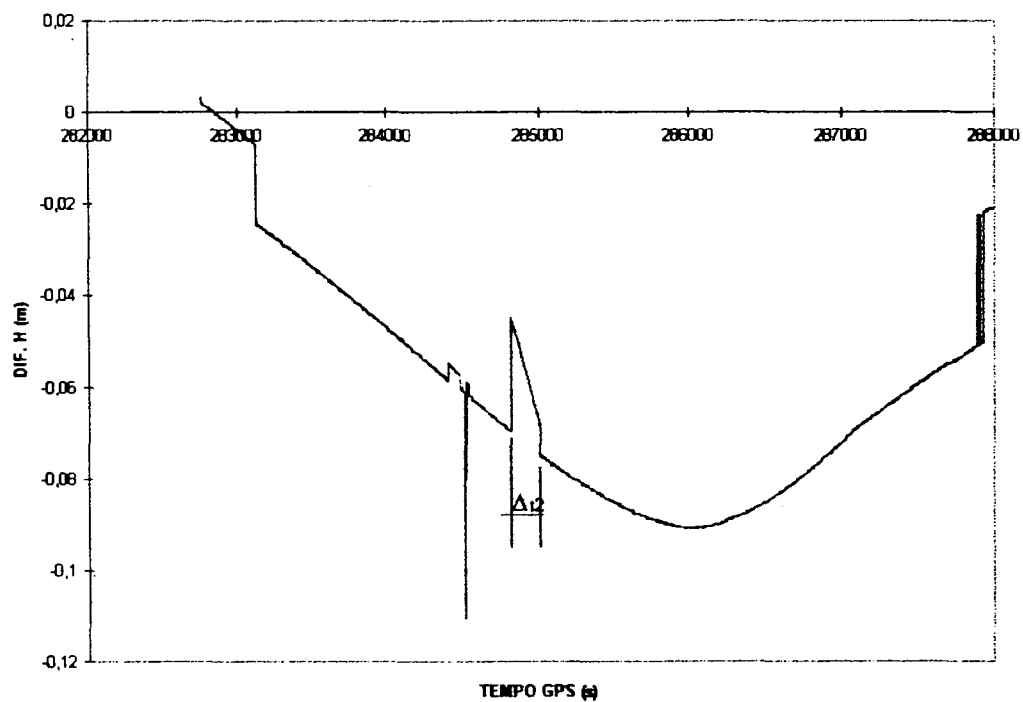
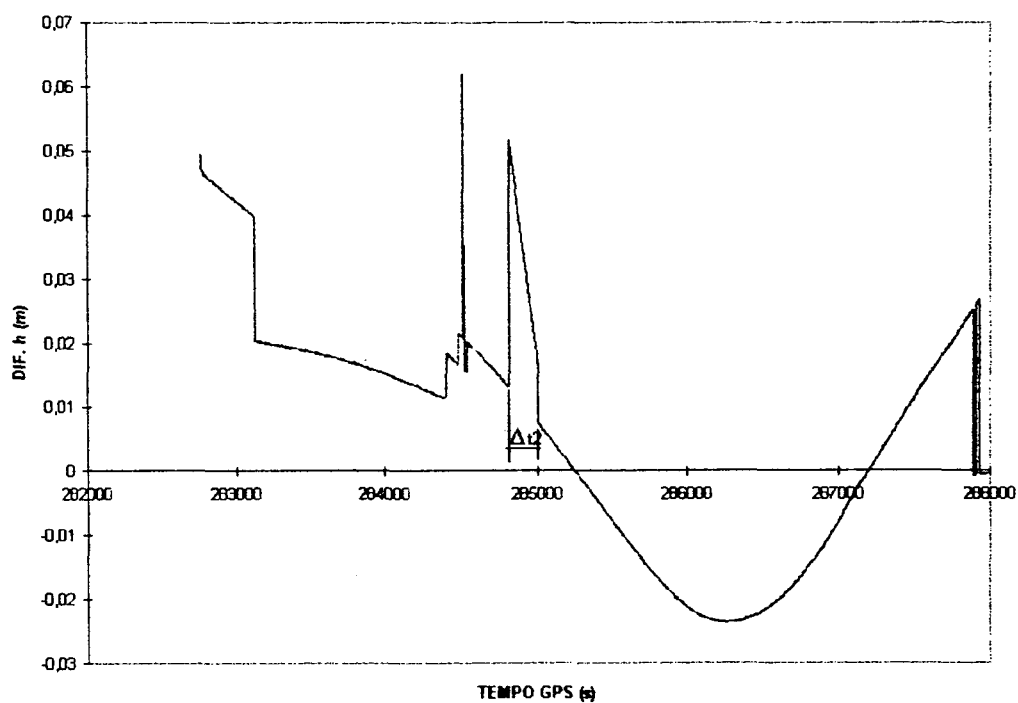


GRÁFICO 12 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS H (BL3 - BL1)**GRÁFICO 13 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BL3 - BL1)**

Da análise dos gráficos 11 a 13, constata-se que a melhor solução entre as duas é a solução que emprega as efemérides precisas (BL3), eliminando-se os erros de órbita.

Observa-se também variações maiores no intervalo de tempo compreendido entre 284.800 s a 285.000 s (Δt_2), que podem ter decorrido de uma falsa resolução de ambigüidades.

Observa-se pela tabela 20 que as soluções BL3 e BL4 empregam as efemérides precisas e diferem entre si pelo emprego ou não do fator de escala troposférico. No gráfico 14, observam-se as diferenças entre essas soluções obtidas para as coordenadas R. Essas diferenças estão compreendidas entre + 2,3 cm e - 1,3 cm. As diferenças obtidas para as coordenadas H, encontram-se representadas no gráfico 15 e estão compreendidas no intervalo de - 3 cm a + 6,5 cm. No gráfico 16, podem-se observar as diferenças em h, onde a variação é de + 21 cm a - 6 cm. Constata-se, novamente, que o fator de escala atua diretamente nas altitudes, nessas obteve-se diferenças maiores. Nos gráficos 14 a 16, pode se observar que essas diferenças se apresentam mais significativas para o intervalo de tempo (Δt_1) compreendido entre 282.763 s (6 h 32 m 43 s) a 284.000 s (6 h 53 m 20 s) onde: para R, da ordem de 2,3 cm, para H, da ordem de 6,5 cm e para h, da ordem de 20 cm. Na seção 5.4.4.1, verificou-se o mesmo, a menos de um dos extremos desse intervalo. Considera-se que nesse intervalo há uma fraqueza, a qual pode ser uma consequência da geometria dos satélites associada a aplicação do fator de escala.

GRÁFICO 14 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS R (BL4 - BL3)

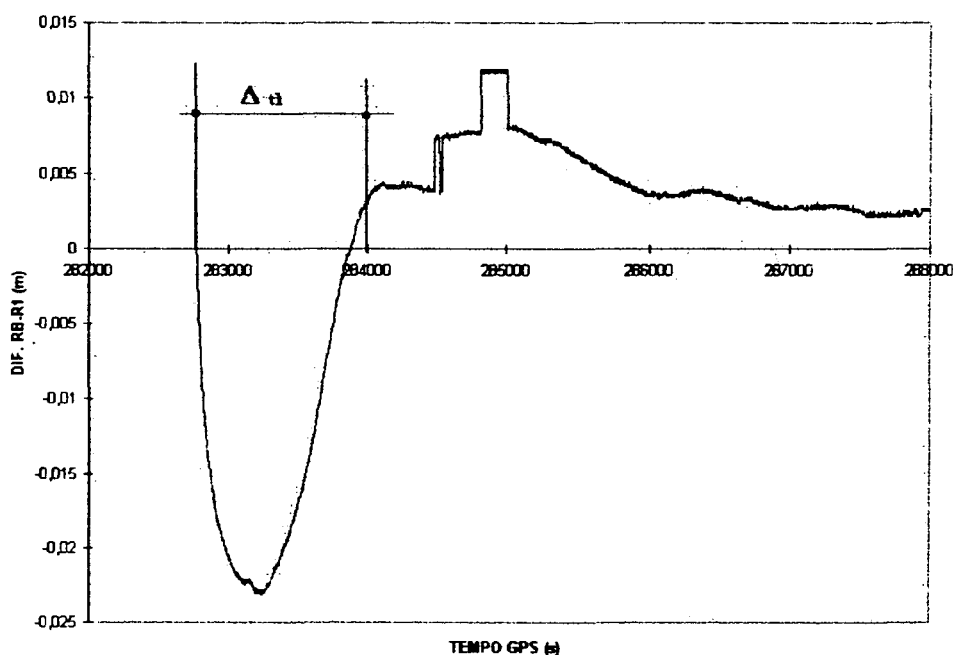
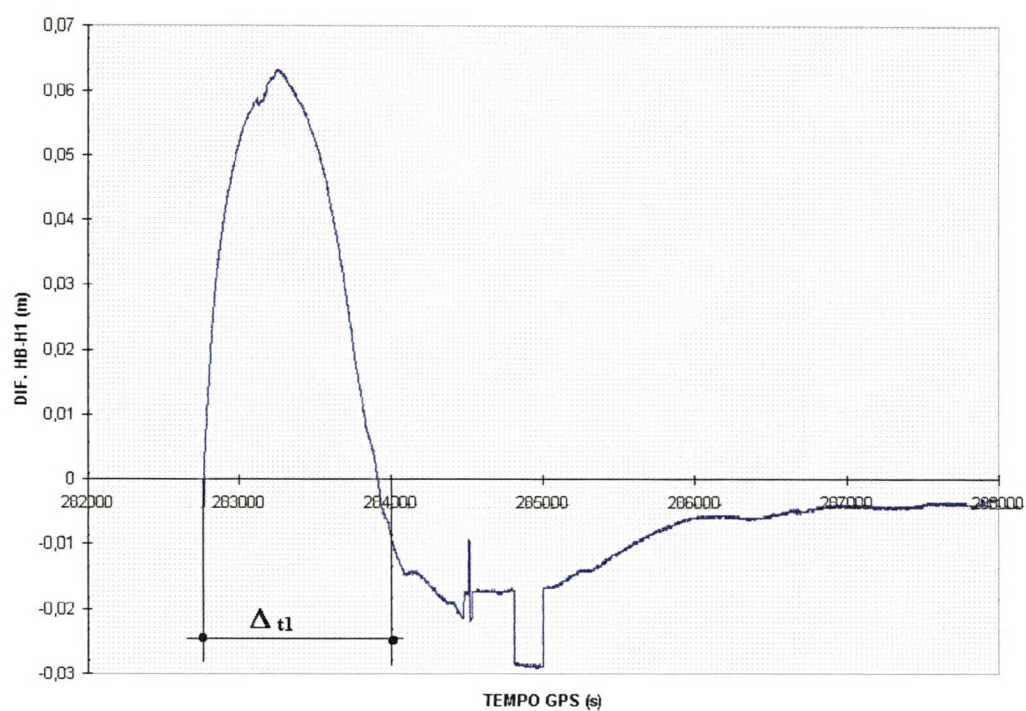
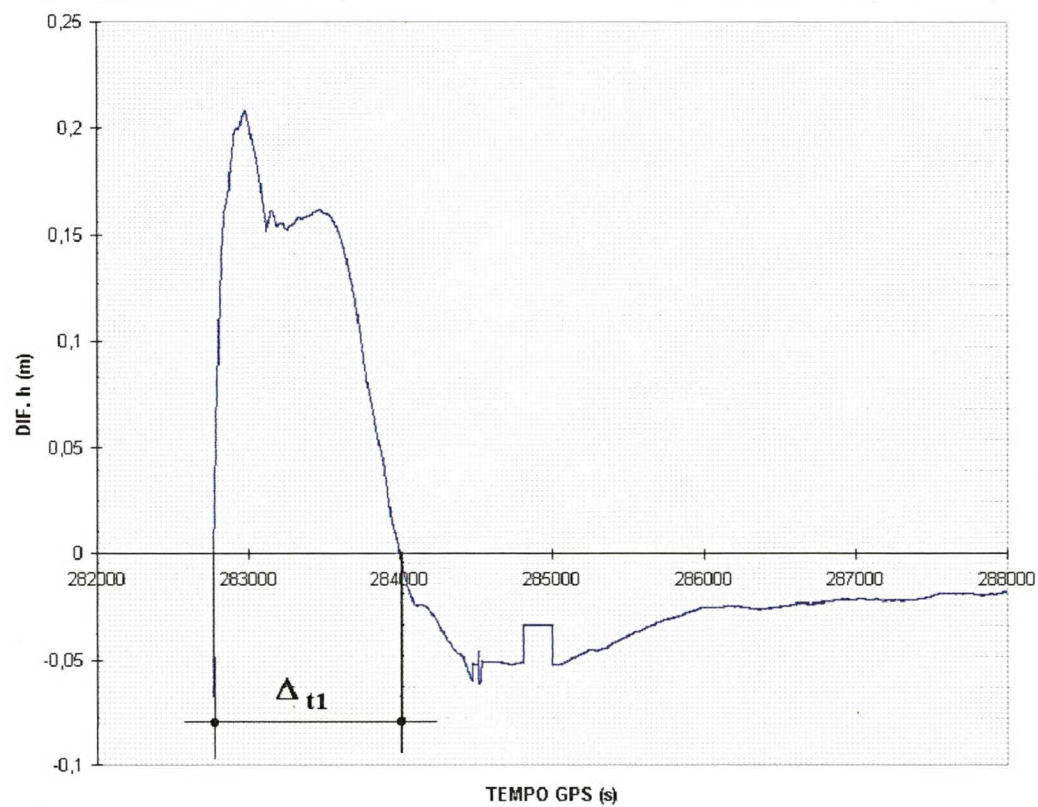
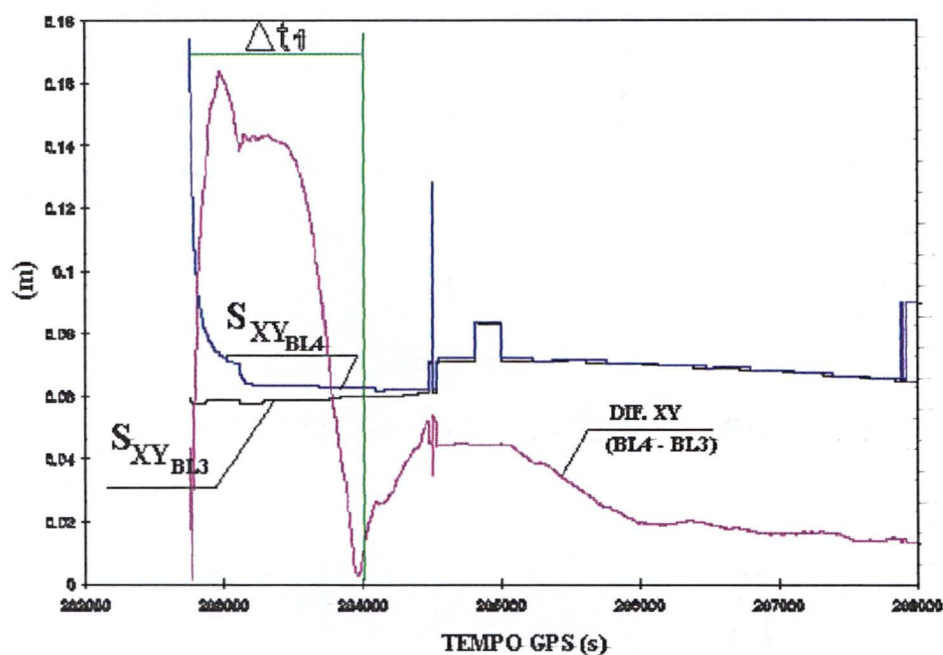


GRÁFICO 15 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS H (BL4 - BL3)**GRÁFICO 16 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BL4 - BL3)**

No gráfico 17, observa-se o desvio padrão das posições calculadas (S_{XY}) com o programa GEONAP-K, para as soluções BL3 (sem fator de escala troposférico) e BL4 (com fator de escala troposférico), utilizando-se as estações de referência MSD8 e ASBM. Indica-se também a diferença total entre as duas soluções.

GRÁFICO 17- DESVIO PADRÃO DAS POSIÇÕES CALCULADAS COM O GEONAP-K, PARA AS SOLUÇÕES BL3 E BL4 E A DIFERENÇA TOTAL ENTRE AS DUAS SOLUÇÕES

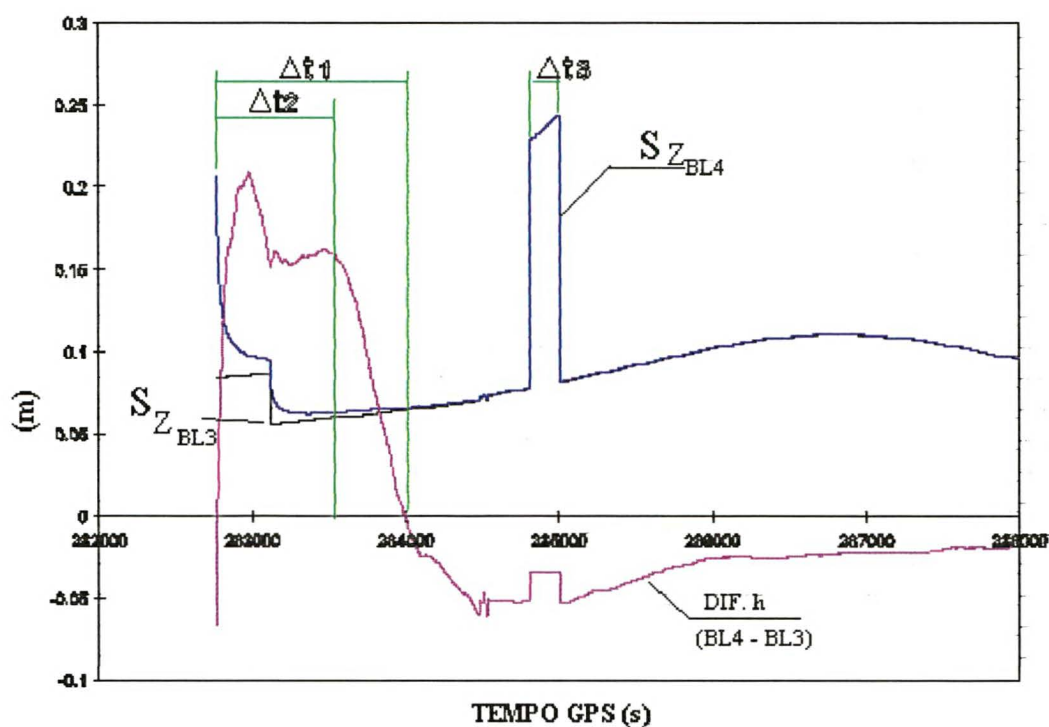


No gráfico acima (gráfico 17), observa-se que para a solução onde houve a introdução do fator de escala (BL4) há uma elevação dos desvios padrão, no período inicial do posicionamento, com relação a solução sem a aplicação desse fator (BL3). Após esse período, os desvios padrão para as soluções são praticamente iguais (em torno de 7 cm). Pode-se dizer que a utilização desse parâmetro (fator de escala troposférico) acarreta em variações mais significativas no período inicial do processamento dos dados, estando provavelmente aliado a geometria dos satélites. A diferença das posições (DIF_{XY}), entre as duas soluções está compreendida entre + 16 cm e 1 mm. As maiores diferenças ocorrem entre 282.764 s e 284.000 s (Δt_1), confirmando o fato dessa região apresentar fraquezas. Após esse intervalo as diferenças oscilam entre 4 e 2 cm.

Observa-se no gráfico 18, os desvios padrão para a coordenada Z em ambas as soluções. Também está indicada as diferenças em altitudes, que oscila de + 20 cm a - 5 cm. As diferenças maiores continuam a ocorrer no intervalo de tempo, anteriormente descrito e os desvios padrão para a solução BL4 são um pouco mais altos do que os da solução BL3, no tempo inicial (282.764 s a 283.500 s - Δt_2).

Constata-se que a introdução do fator de escala troposférico aliado a sensibilidade que a configuração do sistema apresenta, no período inicial, está ocasionando maiores diferenças entre as soluções. As altitudes são as que têm sido atingidas diretamente pela introdução desse parâmetro.

GRÁFICO 18- DIFERENÇAS EM ALTITUDE ENTRE AS SOLUÇÕES BL3 E BL4 E OS DESVIOS PADRÃO CALCULADOS PARA AS COORDENADAS Z PELO PROGRAMA GEONAP-K.



Nos gráficos 17 e 18, observam-se também, a existência de desvios padrão maiores entre os tempos 284.800 s e 285.000 s (Δt_3). Para o gráfico 17, esses são da ordem de 8 cm e para o gráfico 18, de 24 cm. Como já descrito em 5.4.4.1 (gráficos 09 e 10), verificou-se nesse período a saída do satélite 27, ocasionando numa modificação na constelação e podendo ter ocorrido uma falsa resolução de ambigüidades.

5.4.4.3 VERIFICAÇÃO DOS EFEITOS IONOSFÉRICOS DURANTE OS LEVANTAMENTOS

Pela análise dos gráficos 06 a 18, constata-se algumas diferenças maiores, p.ex.: entre os tempos 284.800 s e 285.000 s GPS. Visando analisar as possíveis causas dessas diferenças, optou-se pela verificação dos efeitos ionosféricos durante os levantamentos.

Com os arquivos RINEX gerados para as estações e utilizando o programa RXIONO desenvolvido pelo IfE, puderam ser obtidas informações sobre a taxa do conteúdo total de elétrons - *Total Electron Content* (TEC) - em função do tempo (horas). A unidade é a taxa de TEC (ROT).

Para a estação HELG, obteve-se o gráfico 19, para a estação MSD8, o gráfico 20, e, para a estação móvel ASBM, o gráfico 21. Esses gráficos foram obtidos com o período de rastreo realizado em cada estação.

GRÁFICO 19 - CONTEÚDO TOTAL DE ELÉTRONS NA ESTAÇÃO HELG

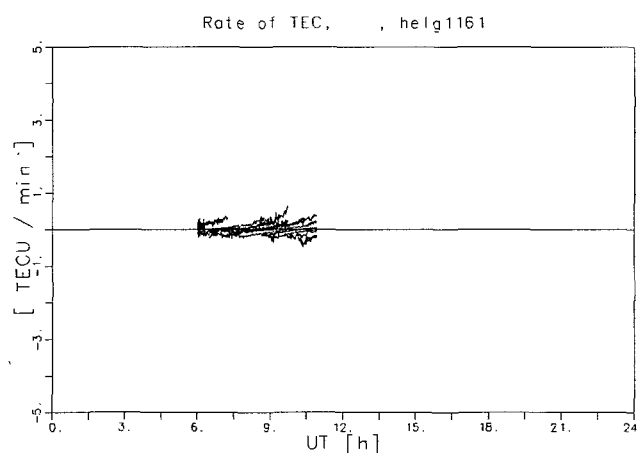


GRÁFICO 20 - CONTEÚDO TOTAL DE ELÉTRONS NA ESTAÇÃO MSD8

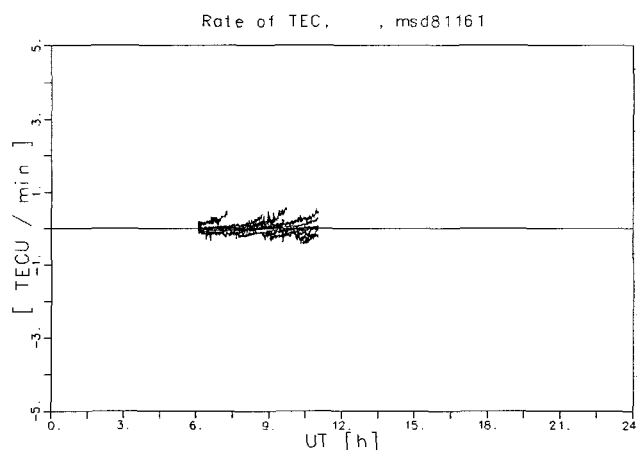
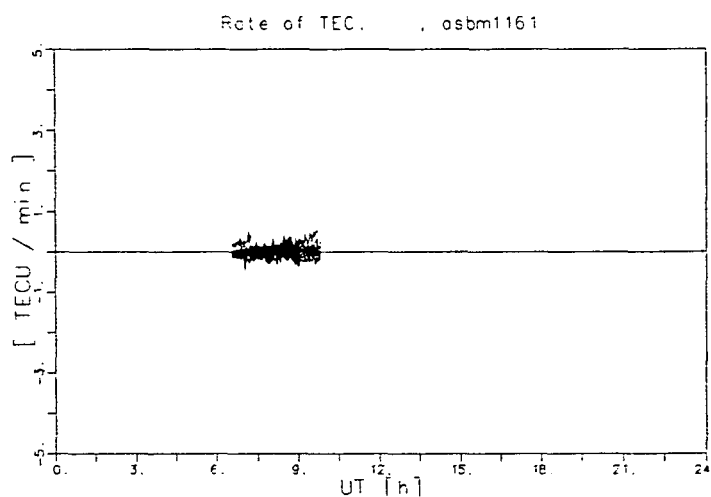
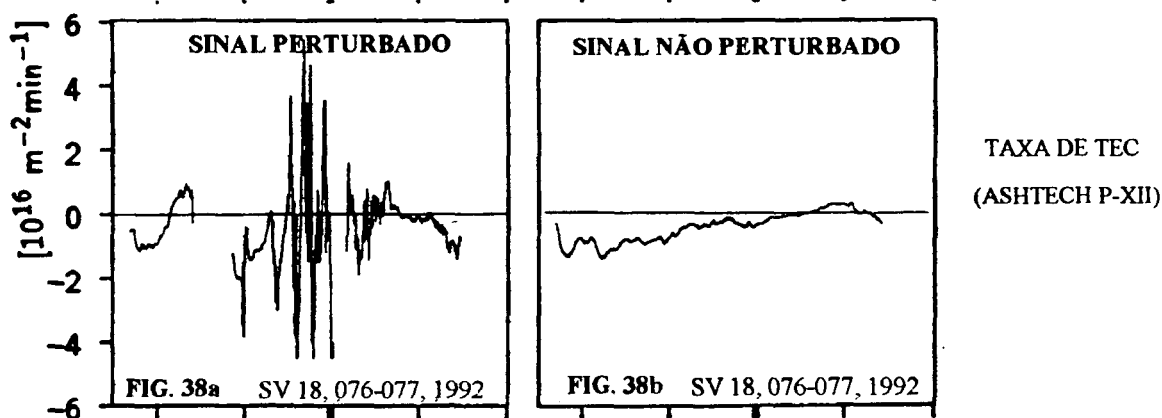


GRÁFICO 21 - CONTEÚDO TOTAL DE ELÉTRONS NA ESTAÇÃO ASBM

Para analisar-se os gráficos 19 a 21, faz-se necessário a introdução de um gráfico externo, que servirá como parâmetro de comparação. No gráfico 22, observa-se a taxa do conteúdo total de elétrons para um sinal perturbado, satélite 18 (gráfico 22a) e para um sinal não perturbado (satélite 18) pelos efeitos ionosféricos (gráfico 22b).

FIGURA 38 - CURVA PARA COMPARAÇÃO

(Fonte: HEIMBERG, 1994)



Em geral, uma análise da influência da ionosfera é realizada com um maior período de observação. Utilizou-se no presente caso o máximo de dados disponíveis, visando fornecer algumas informações sobre o efeito ionosférico nesse levantamento.

Comparando os gráficos 19 a 21 com o gráfico 22, observa-se que, para as estações (ASBM, HELG e MSD8) não há qualquer perturbação significativa no conteúdo total de elétrons, para uma elevação de 15°.

5.4.4.4 SOLUÇÃO PDGPS PARA ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA DISTINTAS.

Obtida as soluções para as trajetórias BC e BL, procedeu-se ao cálculo das diferenças existentes entre as coordenadas (R,H,h) geradas por ambas as soluções e obtiveram-se os gráficos 22, 23 e 24. Com essas diferenças calculadas, pode-se avaliar a solução PDGPS para a trajetória descrita pela embarcação *WEGA* utilizando diferentes estações de referência, HELG e MSD8 (ver seções 5.3.2 e 5.4). Para essa análise de solução, adotamos a solução BC3 como a solução mais precisa para a trajetória BC, conforme descrito em 5.4.4.1. Comparando-se a solução BC3 com a solução obtida para a trajetória BL, obtém-se boas informações quanto a precisão para essa trajetória. Utiliza-se nessa análise de solução PDGPS, a trajetória BL3.

No gráfico 22, observa-se que as diferenças entre as soluções BC3 e BL3 para as coordenadas R, encontram-se entre 2 cm a 7 cm. As diferenças para as coordenadas H, podem ser observadas no gráfico 23 e encontram-se entre 10 cm a 18 cm. No gráfico 24, se apresenta as diferenças entre as coordenadas h, que se encontram entre 10 cm e 20 cm.

GRAFICO 22 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS R (BC3-BL3)

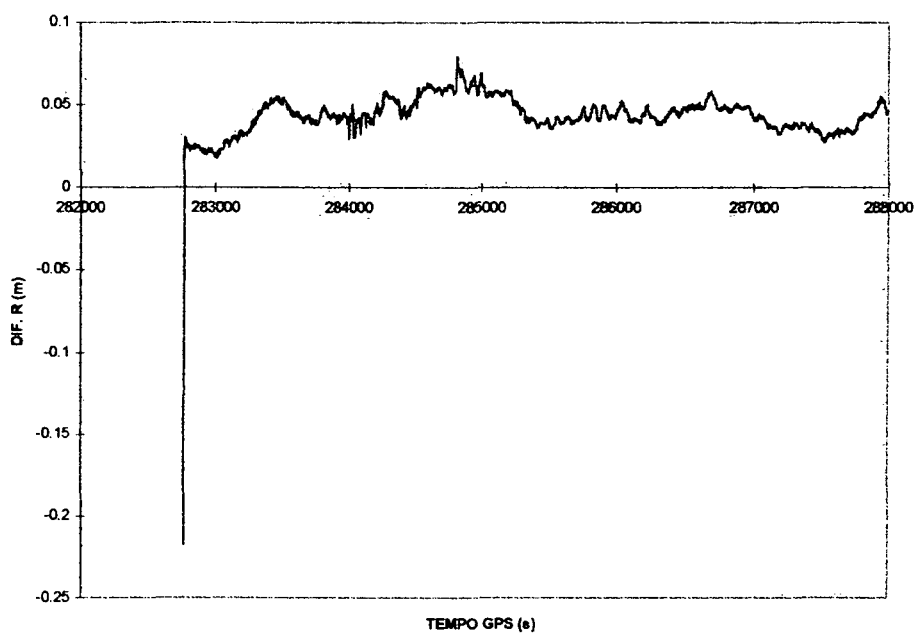
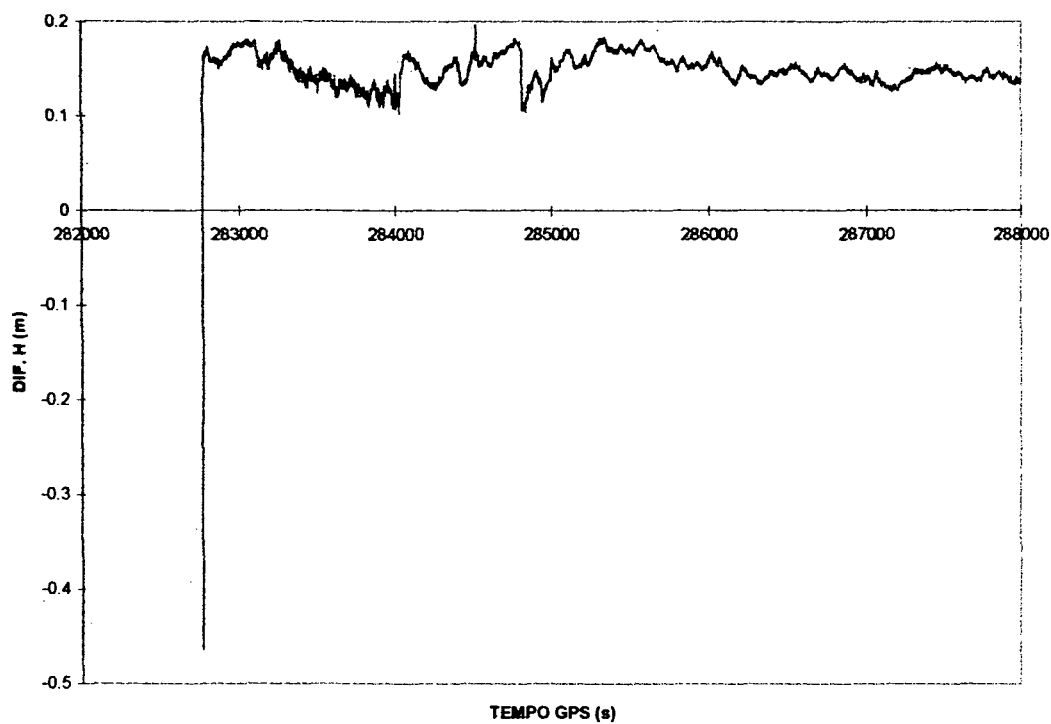
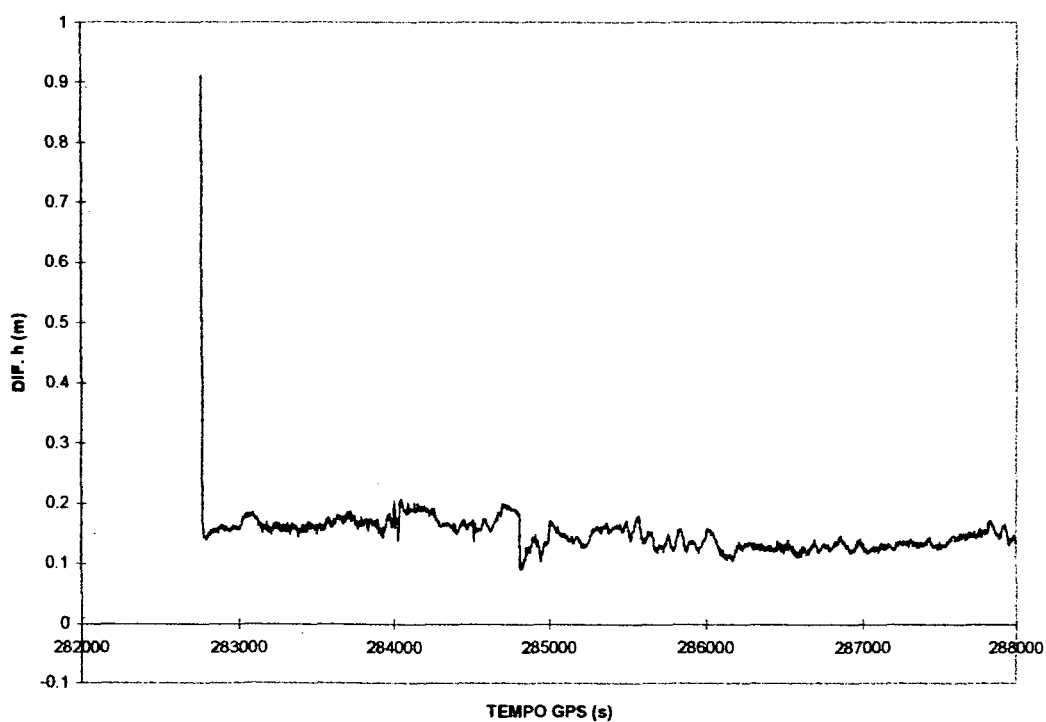


GRAFICO 23 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS H (BC3-BL3)**GRAFICO 24 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC3-BL3)**

Analisando-se essas diferenças, verifica-se que por volta de 284.800 s (7 h 06 m 40 s) há um pico de variação nas diferenças. Para as coordenadas R essas são da ordem de 2 cm,

para as coordenadas H de 7 cm e para as coordenadas h de 10 cm. Para esse intervalo observa-se a saída do satélite 27, que pode ter acarretado numa falsa resolução das ambigüidades (ver seção 5.4.4.1). Verifica-se que após o tempo GPS 285.000 s (7 h 10 m) as diferenças entre as soluções tendem a um valor médio. Para a coordenada R tem-se um valor médio de 4 cm, para a coordenada H esse valor é de 15 cm e para a coordenada h é de 14 cm.

De forma geral, as diferenças estão ao nível do decímetro, o que significa uma ótima precisão para a solução PDGPS. Conforme figura 02 (ver seção 2.3), a solução PDGPS está compreendida no intervalo de 1 m a 0,01 m. Considera-se, ainda, que uma das estações de referência se encontra a cerca de 226 km da embarcação e a outra a 27 km (tabela 16). Na seção 5.1, indica-se que a distância entre as estações de referência e a móvel é de extrema importância na precisão da solução e que há uma grande influência dos efeitos atmosféricos e do erro de órbita. O primeiro pode ser minimizado quando da utilização de um modelo troposférico padrão, podendo-se recorrer a introdução de um fator de escala troposférico, bem como dos parâmetros atmosféricos atuais (p.ex.: temperatura seca, temperatura úmida e pressão atmosférica). O erro de órbita, por sua vez, é minimizado quando do emprego das efemérides precisas.

Do exposto acima, verifica-se que a introdução de certos parâmetros no processamento dos dados poderá modificar a precisão da solução PDGPS. Na sequência, realizar-se-á mais algumas investigações a esse respeito.

5.4.5 INVESTIGAÇÕES DAS SOLUÇÕES PDGPS OBTIDAS EM 5.4.4.4

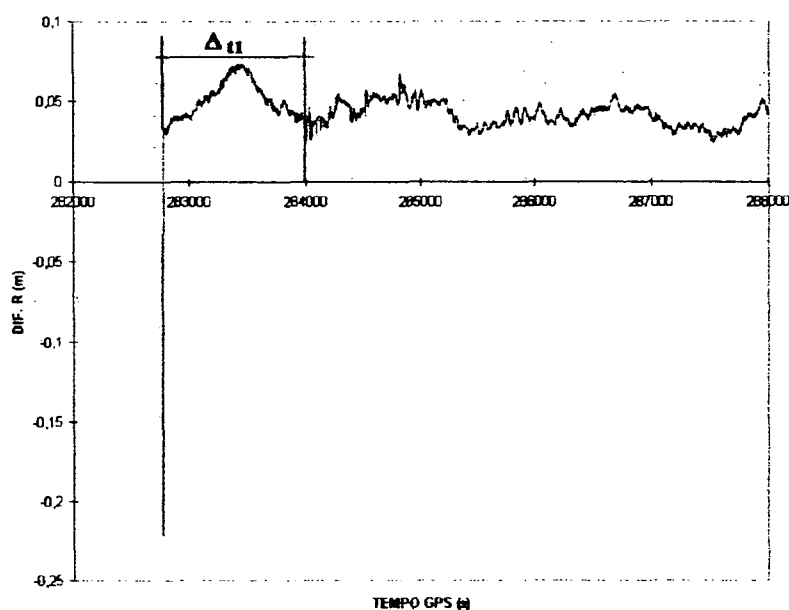
Visando investigar mais a influência da introdução de parâmetros na solução PDGPS, realiza-se mais alguns processamentos, introduzindo modificações no processamento dos dados coletados para a trajetória BL. Para possibilitar uma boa comparação quanto a precisão das soluções, mantém-se a solução BC3 da trajetória BC como a melhor. Os dados coletados foram processados com o programa GEONAP-K (seção 2.8.1) e utilizou-se diferentes parâmetros e opções permitidos pelo programa. Na tabela 21, estão indicadas as investigações realizadas, bem como os parâmetros envolvidos.

TABELA 21 - DIFERENTES INVESTIGAÇÕES

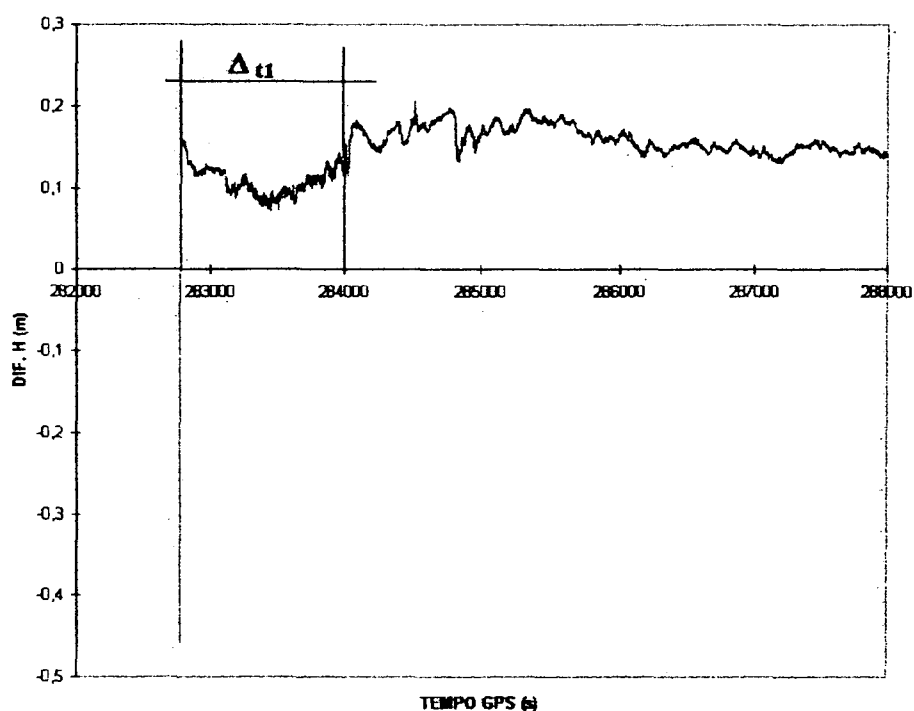
INVESTIGAÇÃO	PARÂMETROS APLICADOS NA TRAJETÓRIA BL	TRAJETÓRIA BC
1	EFEMÉRIDES PRECISAS (EP), FATOR DE ESCALA TROPOSFÉRICO	BC3
2	EP, SEM SATÉLITE 27	BC3
3	EP, SEM SATÉLITES 27, 12	BC3
4	EP, SEM SATÉLITES 27, 12 e 9	BC3
5	EP, PROCESSAMENTO COM L_1	BC3
6	EP, AMBIGÜIDADE FALSA	BC3

5.4.5.1 1ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA

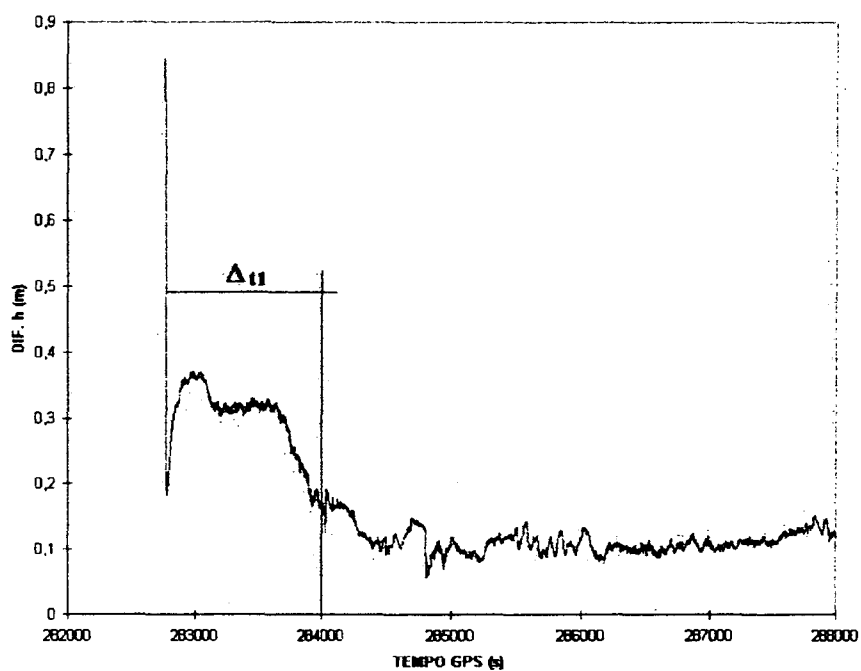
Essa primeira investigação consiste na análise da precisão para a trajetória BL4 (MSD8/ASBM) com relação a trajetória BC3 (HELG/ASBM). A primeira, obtida com a utilização das efemérides precisas e aplicando o fator de escala troposférico (ver tabela 20 e 21), e a segunda, com a utilização das efemérides precisas. A metodologia para a resolução das ambigüidades, em ambos os casos, foi a mesma, a menos dos fatores anteriormente descritos. No gráfico 25, observam-se as diferenças em R, entre as trajetórias geradas para as soluções das distintas estações de referências com a estação móvel. Elas foram da ordem de 2 cm a 7 cm.

GRÁFICO 25 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS R (BC3-BL4)

No gráfico 26, observam-se as diferenças em H, que foram da ordem de 8 cm a 20 cm.

GRÁFICO 26 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS H (BC3-BL4)

A diferença em h pode ser observada no gráfico 27. Nesse, nota-se uma variação de 8 cm a 35 cm.

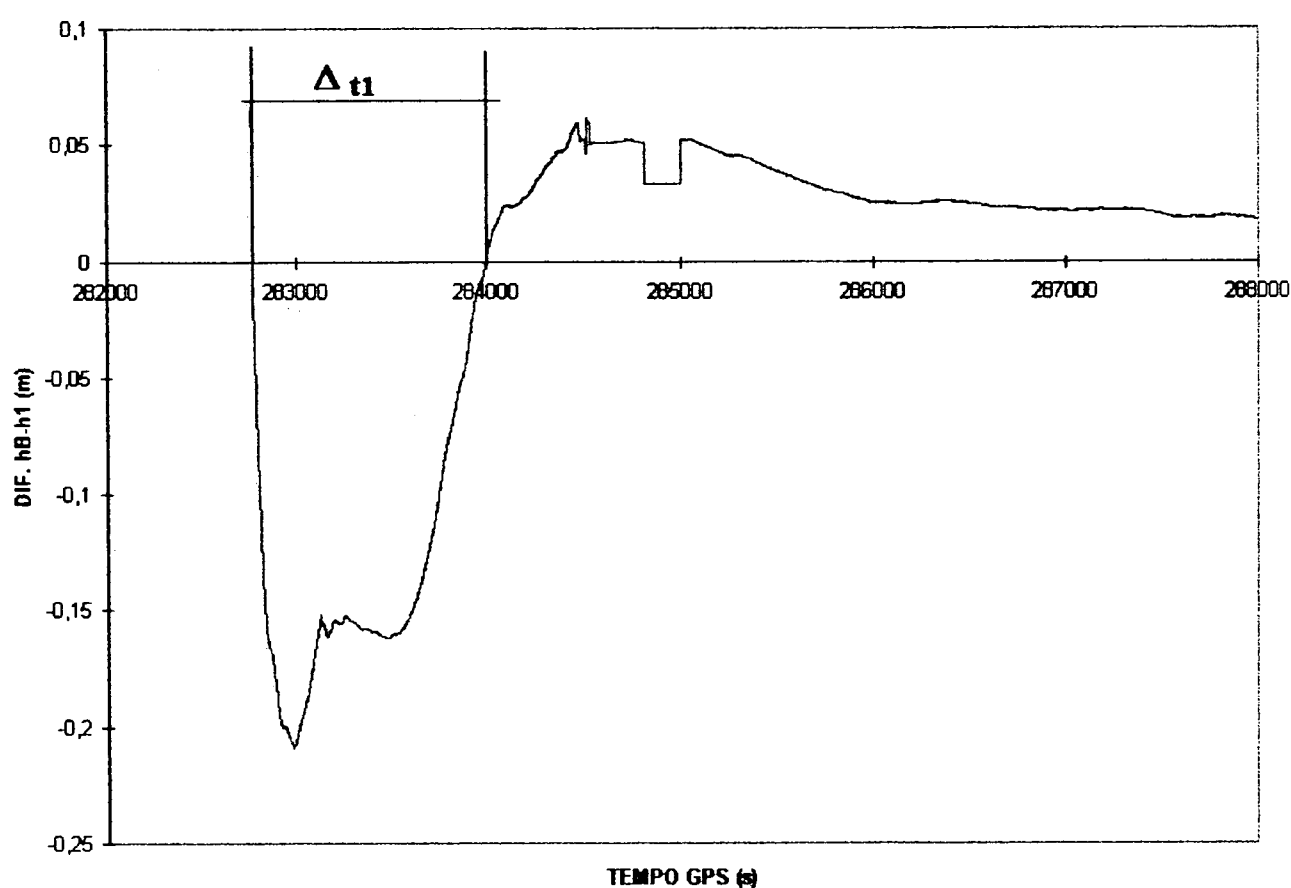
GRÁFICO 27 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC3-BL4)

Analisando-se os gráficos 25 a 27 com os gráficos 22 a 24, verifica-se que, há modificações na conformação das curvas no intervalo de tempo inicial (Δt_1), compreendido de

282.764 s (6 h 32 m 43 s) a 284.000 s (6 h 53 m 20 s). Para as coordenadas R, as diferenças foram inferiores ao centímetro. Para H, nesse intervalo de tempo, a variação foi de centímetros (< 6 cm). Esses gráfico podem ser observados no anexo 07, gráfico 7.1 representa as diferenças em R e gráfico 7.2, diferenças em H.

Porém, para h, há variações da ordem de 22 cm, para o intervalo de tempo Δt_1 . No restante do tempo, as diferenças são da ordem de poucos centímetros (< 5 cm). No gráfico 28, podem ser observadas essas diferenças.

GRÁFICO 28 - Δh EM FUNÇÃO DO TEMPO



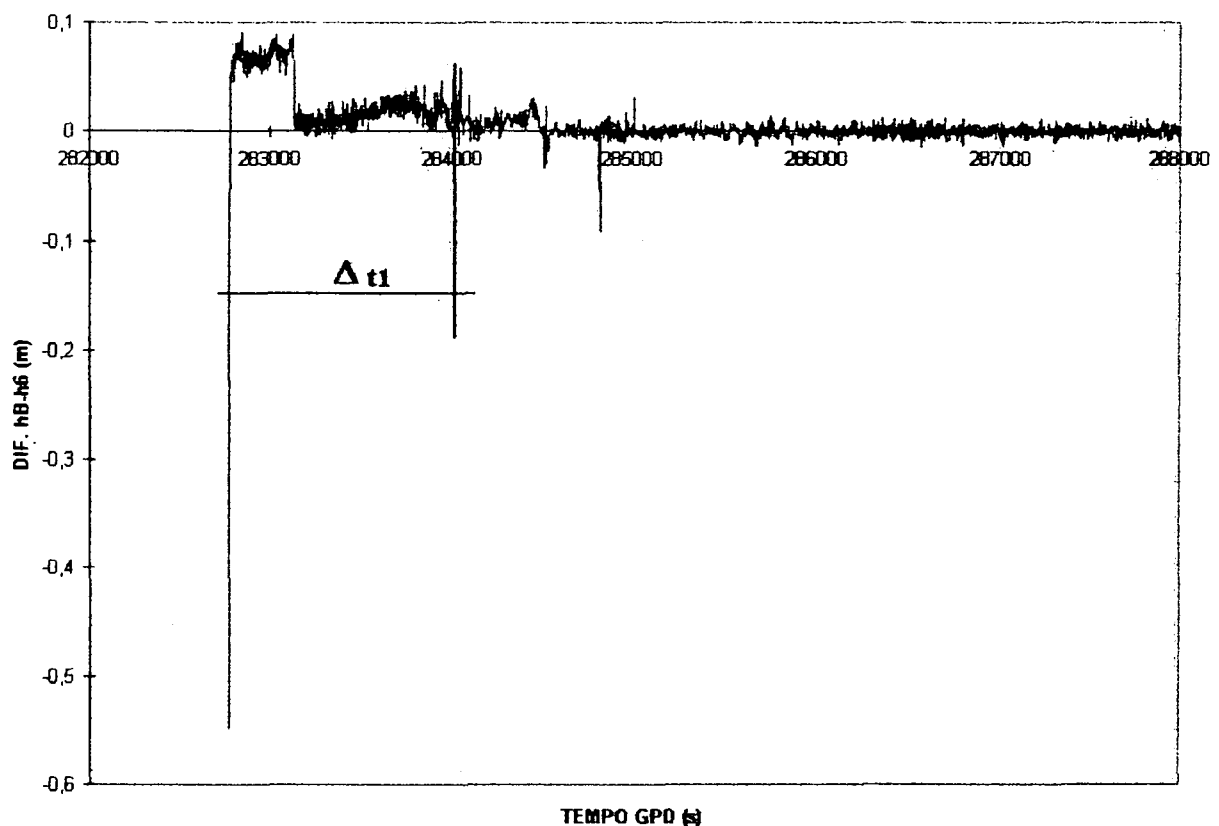
Nesse intervalo de tempo Δt_1 (entre 282.764 s a 284.000 s), a aplicação do fator de escala troposférico aliado a uma configuração, evidentemente, sensível resultou em maiores variações, principalmente para as altitudes. Verifica-se também que esse período representa aproximadamente 25 % da trajetória descrita. Para os restantes 75 %, essas variações foram não significativas para aplicações no âmbito marinho, principalmente quando se emprega estações de referência distantes da estação móvel.

5.4.5.2 2ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA

Nessa nova investigação optou-se pela remoção do satélite 27, que permanece por um pequeno intervalo de tempo, apresenta uma elevação de cerca de 26 graus e está em trajetória descendente (ver gráficos 03, 04 e do anexo 03). Esse satélite foi removido da trajetória BL. Em ambas as trajetórias (BC3 e BL) utilizou-se as efemérides precisas (ver tabela 21) e se empregou a mesma metodologia para a resolução das ambigüidades. Os gráficos gerados apresentaram alterações nas curvas para as coordenadas R, H e h, no intervalo de tempo Δt_1 (entre 282.764 s a 284.000 s). Esses gráficos encontram-se no anexo 08.

Com a comparação dos gráficos obtidos nessa investigação (gráficos 8.1, 8.2 e 8.3) com os gráficos 22 a 24, obtêm-se diferenças inferiores a 4 cm no intervalo Δt_1 para as coordenadas R (gráfico 8.4 - anexo 08). Para as coordenadas H (gráfico 8.5 - anexo 08), há variações inferiores a 2,5 cm, para esse mesmo intervalo. No gráfico 29, observam-se as diferenças em h, que são inferiores a 10 cm para o intervalo Δt_1 . Para o intervalo de tempo de 284.000 s a 288.000 s (8 h 00 m), essas diferenças são praticamente nulas.

GRÁFICO 29 - Δh EM FUNÇÃO DO TEMPO



Com essa investigação, observa-se que a remoção do satélite 27 contribui para uma minimização das diferenças em altitudes, entre as soluções, no intervalo de tempo Δt_1 . Porém, tais diferenças são de ordem centimétrica, que no âmbito marinho não possuem um grande significado.

5.4.5.3 3ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA

Nessa investigação remove-se os satélites 27 e 12, esse último está presente por todo o período do levantamento. Esses satélites foram removidos da trajetória BL. Em ambas as trajetórias (BC3 e BL) utilizou-se as efemérides precisas (ver tabela 21), ainda trabalha-se com as soluções sem a atuação do fator de escala troposférico e se emprega a mesma metodologia para a resolução das ambigüidades que nas investigações anteriores. Essa investigação conduz aos gráficos 30 (para R), 31 (para H) e 32 (para h).

GRÁFICO 30 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS R (BC3-BL)

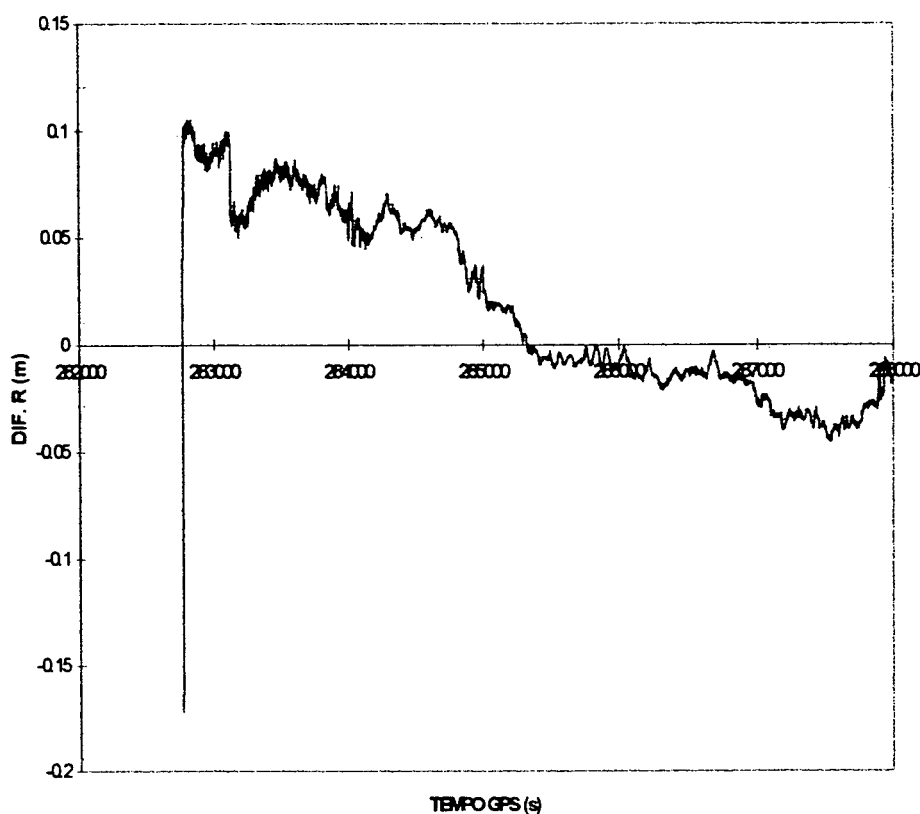
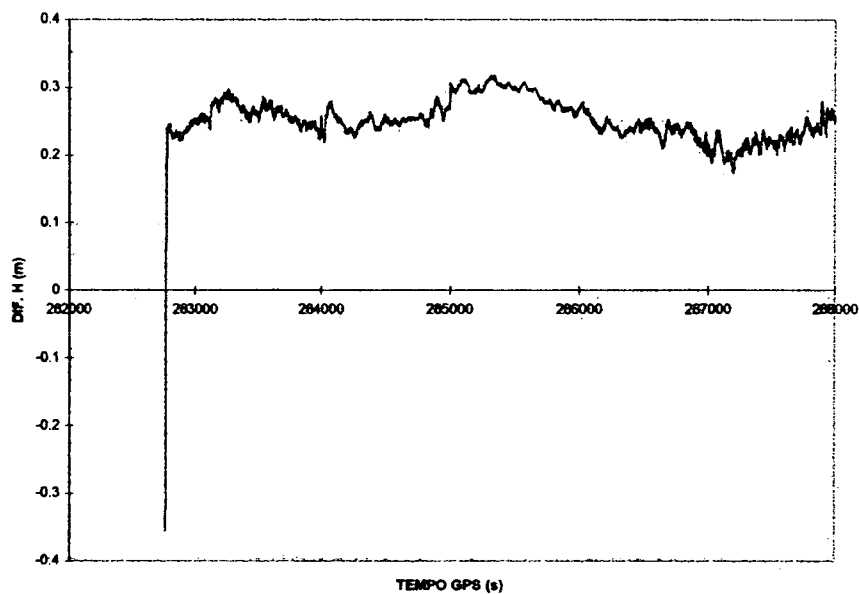
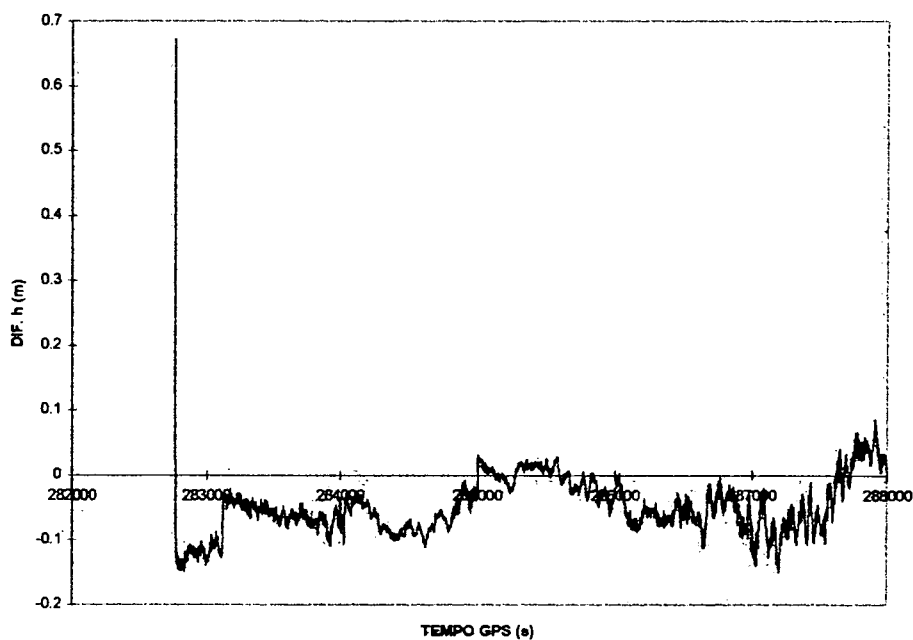
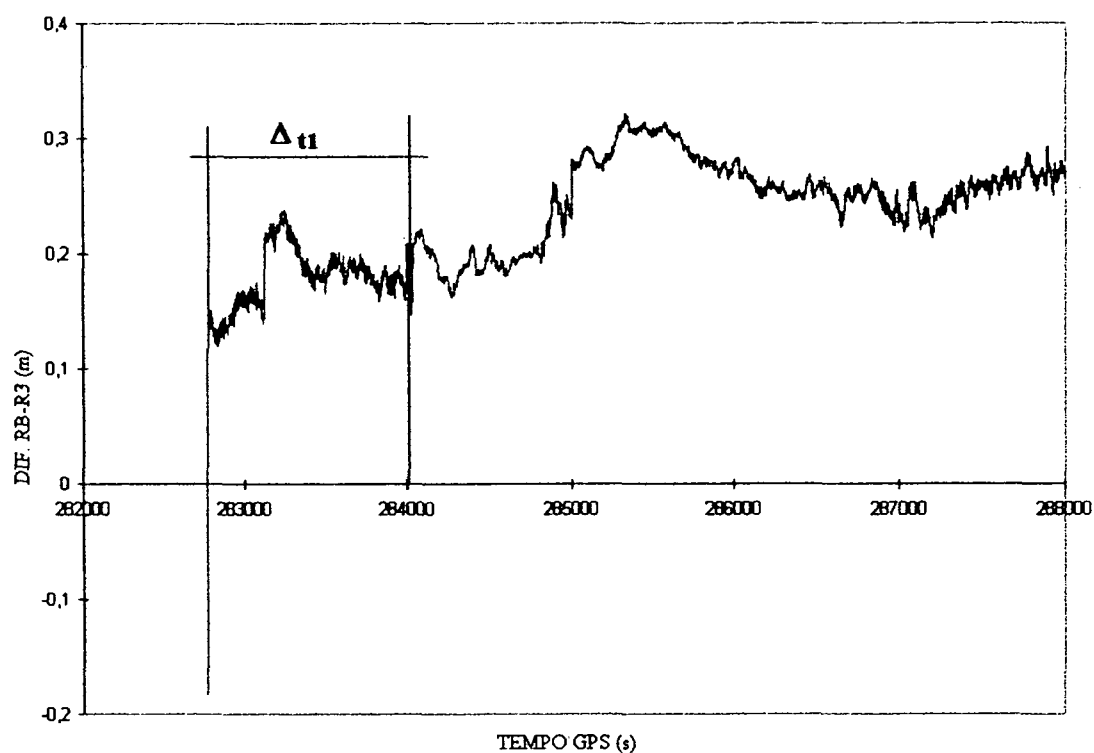


GRÁFICO 31 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS H (BC3-BL)**GRÁFICO 32 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC3-BL)**

Verifica-se modificações centimétricas nas curvas geradas pelas diferenças obtidas entre as soluções BC3 e BL (sem satélites 27 e 12). Quando se comparam esses gráficos com os gráficos 22 a 24, verifica-se que, para a coordenada R, as diferenças em Δt_1 são da ordem de 10 a 20 cm e após o tempo 284.000 s são da ordem de 20 a 30 cm (gráfico 33).

GRÁFICO 33 - ΔR EM FUNÇÃO DO TEMPO

Em H (gráfico 34), também se observa as diferenças não superiores a - 14 cm. Para h (gráfico 35), tem-se variações de 10 a 30 cm.

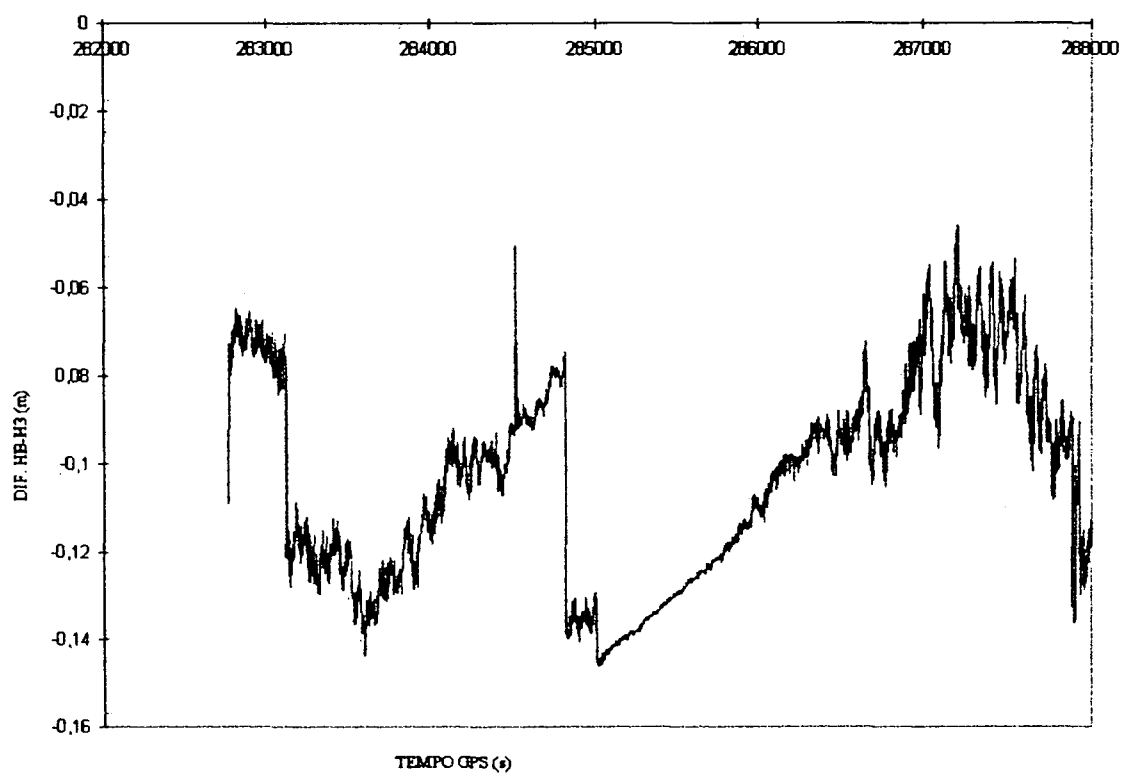
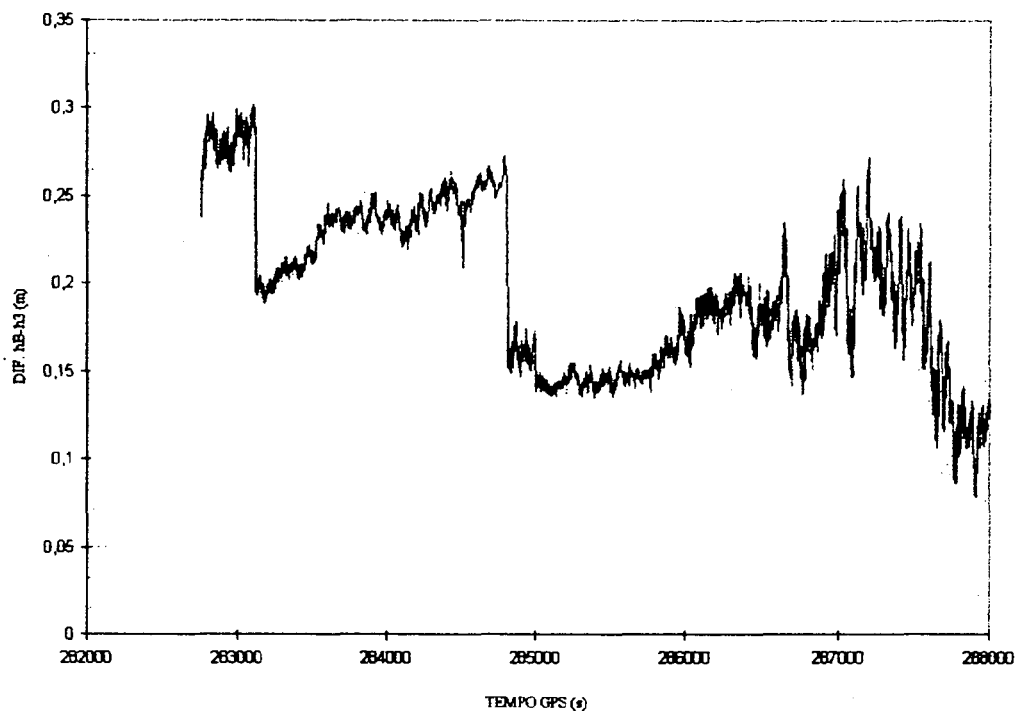
GRÁFICO 34 - ΔH EM FUNÇÃO DO TEMPO

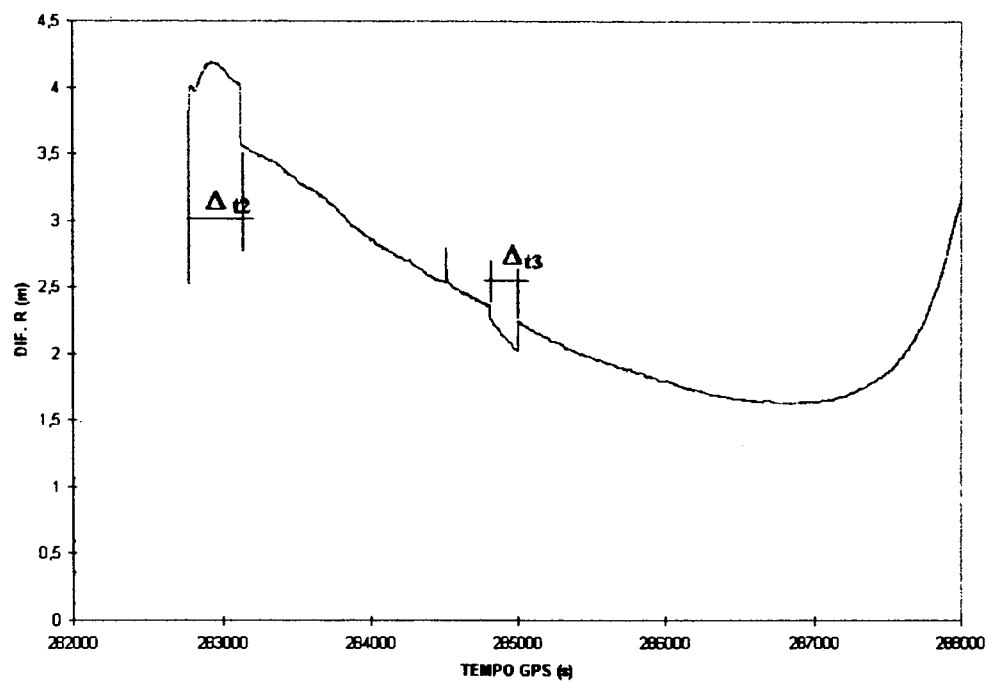
GRÁFICO 35 - Δh EM FUNÇÃO DO TEMPO

Com a remoção desses satélites, observa-se nas curvas dos gráficos 34 e 35 saltos nos tempos 283.125 s, 284.450 s e 284.800 s, e a permanência de apenas 5 satélites no levantamento (gráficos 01, 02 e 2.1 no anexo 02). Observa-se também, que essa remoção acarreta em maiores diferenças do que as obtidas nos gráficos 8.4 e 8.5, (anexo 08) e gráfico 30, onde houve apenas a remoção do satélite 27. Constata-se, também que a remoção simultânea de dois satélites torna o sistema mais sensível.

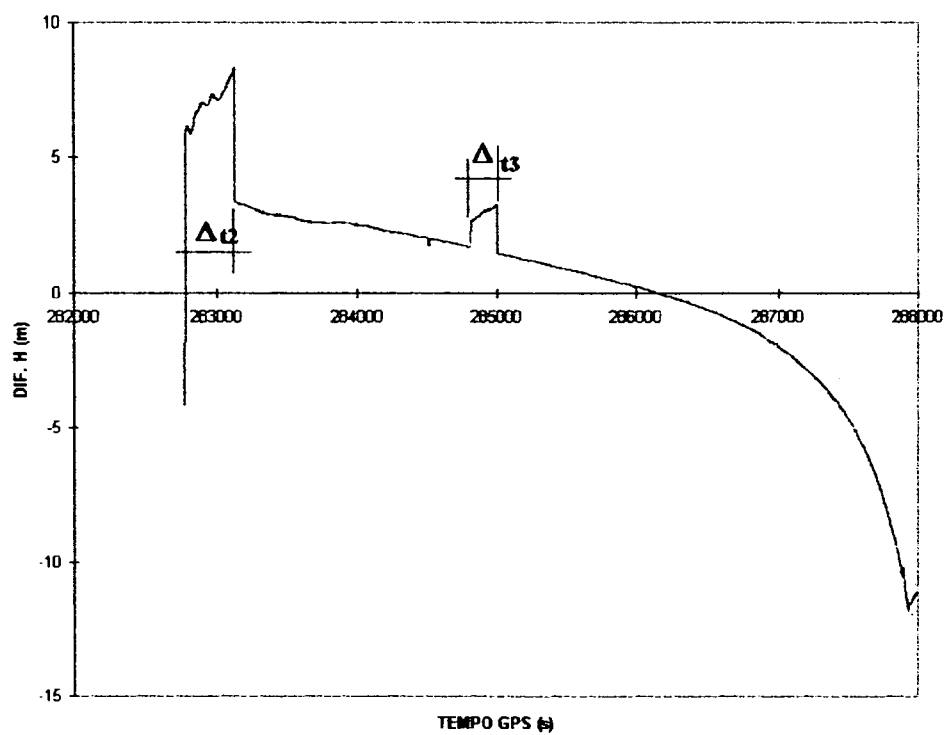
Na figura 02, verificou-se que a solução PDGPS encontra-se com uma precisão inferior ao metro. Dessa forma, essas diferenças (da ordem de 20 a 30 cm) podem ser consideradas satisfatórias.

5.4.5.4 4ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA

Essa investigação consiste na análise da precisão para a trajetória BL com relação a trajetória BC3. A primeira, obtida com a utilização das efemérides precisas e removendo-se os satélites 27, 12 e 09 (ver tabela 20 e 21), e a segunda, com a utilização das efemérides precisas. A metodologia para a resolução das ambigüidades, em ambos os casos, foi a mesma, a menos dos fatores anteriormente descritos. No gráfico 36, observam-se as diferenças em R, entre as trajetórias geradas para as soluções das distintas estações de referências com a estação móvel. Elas foram da ordem de 1,7 m a 4,2 m.

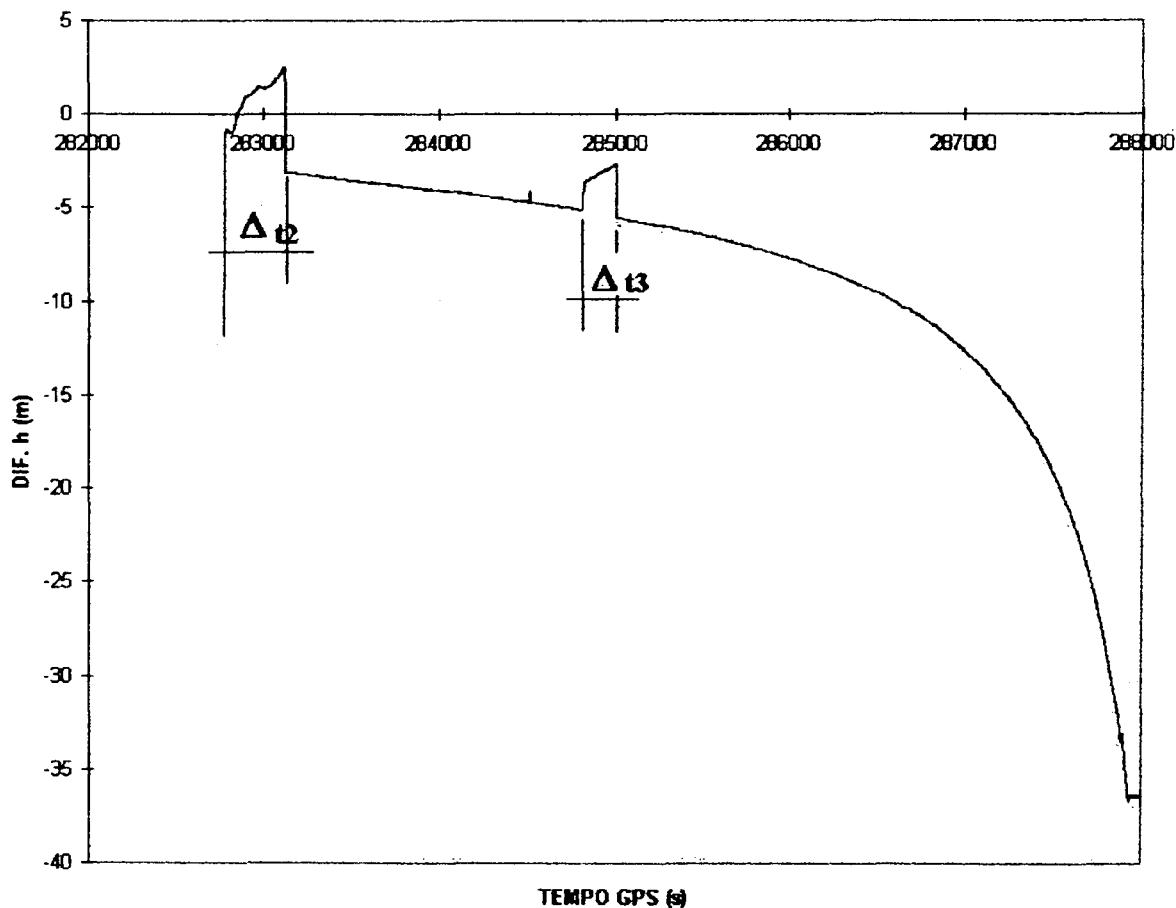
GRÁFICO 36 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS R (BC3-BL)

As diferenças em H, foram da ordem de + 8 m a - 12 m. Elas podem ser observadas no gráfico 37.

GRÁFICO 37 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS H (BC3-BL)

O gráfico 38, representa as diferenças em h obtidas entre as duas soluções (BC3 e BL), que foram da ordem de +4 m a - 37 m.

GRÁFICO 38 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC3-BL)



Observam-se nos gráficos 36 a 38, nos intervalos de tempo compreendidos entre 282.763 s a 283.126 s (Δt_2) e 284.812 s a 285.002 s (Δt_3) sensíveis variações nas curvas. Para as diferenças em R , observa-se variações da ordem de 70 cm no intervalo Δt_2 e da ordem de 20 cm para Δt_3 . Para H , em Δt_2 houve diferenças da ordem de 5,0 m e em Δt_3 da ordem de 1,4 m. Para h , observa-se diferenças da ordem de 60 cm em Δt_2 e da ordem de 3,0 m em Δt_3 . Constatam-se então, serem as regiões compreendidas entre Δt_2 e Δt_3 mais sensíveis a nova configuração de satélites. Nesses intervalos de tempo (Δt_2 e Δt_3), observa-se a presença de 4 satélites com elevação inferior a 30° (gráficos 03, 04 e 3.1 no anexo 03) e 3 satélites com elevação superior a essa, dos quais dois deles são removidos.

Com a remoção dos 3 satélites (27, 12 e 9), a constelação nesse levantamento permanece apenas com 4 satélites, necessários para a resolução do sistema. Porém, os resultados obtidos não são satisfatórios, para a precisão desejada com o PDGPS.

Também é possível verificar um aumento crescente das diferenças obtidas para as coordenadas R, H e h, a partir de 286300 s GPS, que significa uma degradação da solução com a remoção desses satélites.

A comparação desses gráficos (36 a 38) com os gráficos 22 a 24 não foi realizada, pelo fato de que essa solução para a trajetória BL não é satisfatória.

5.4.5.5 5ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA

Nessa quinta investigação, para a solução da trajetória BL, utilizou-se as efemérides precisas (ver tabela 21) e empregou-se apenas a portadora L_1 na resolução das ambigüidades. Utilizou-se a solução BC3, conforme se pode observar na tabela 21. Obtiveram-se os gráficos 39, 40 e 41 para as diferenças em R, H e h, respectivamente.

GRÁFICO 39 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS R (BC3-BL)

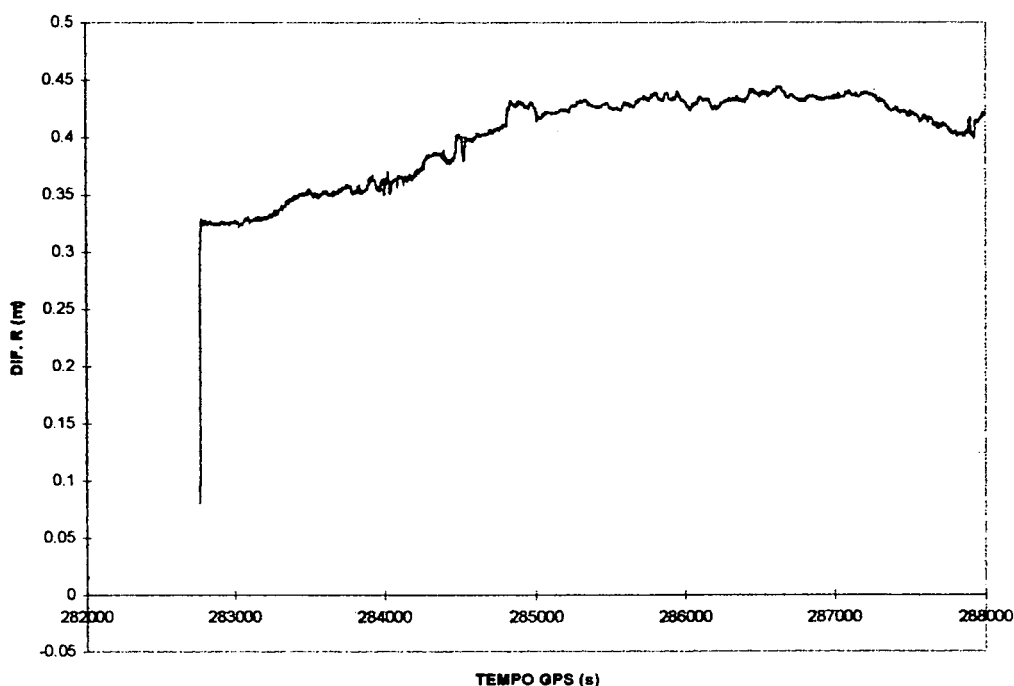
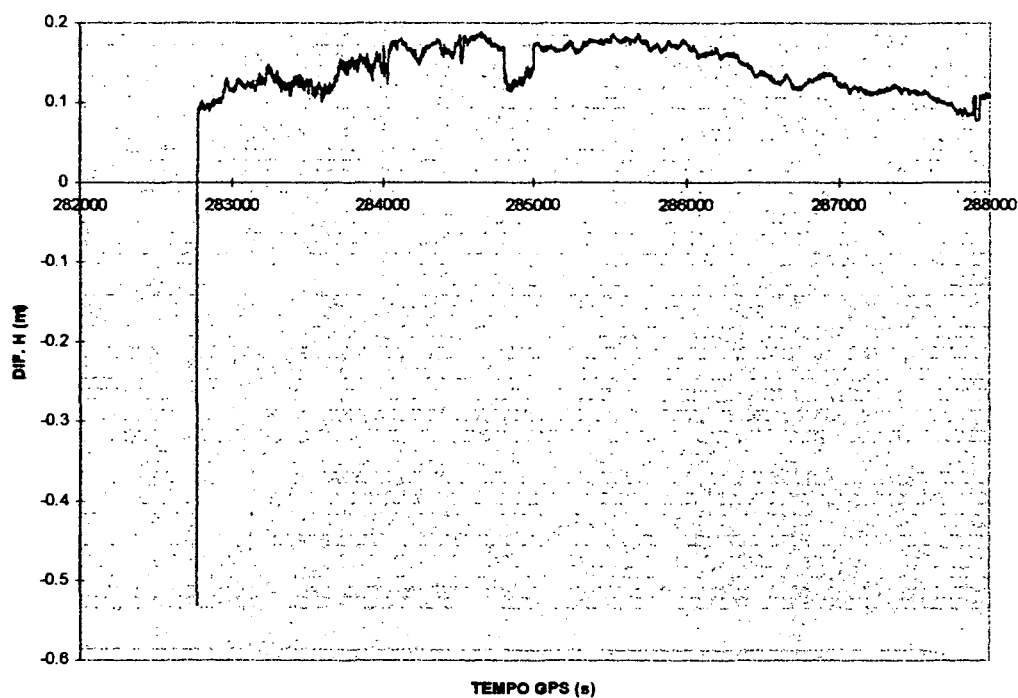
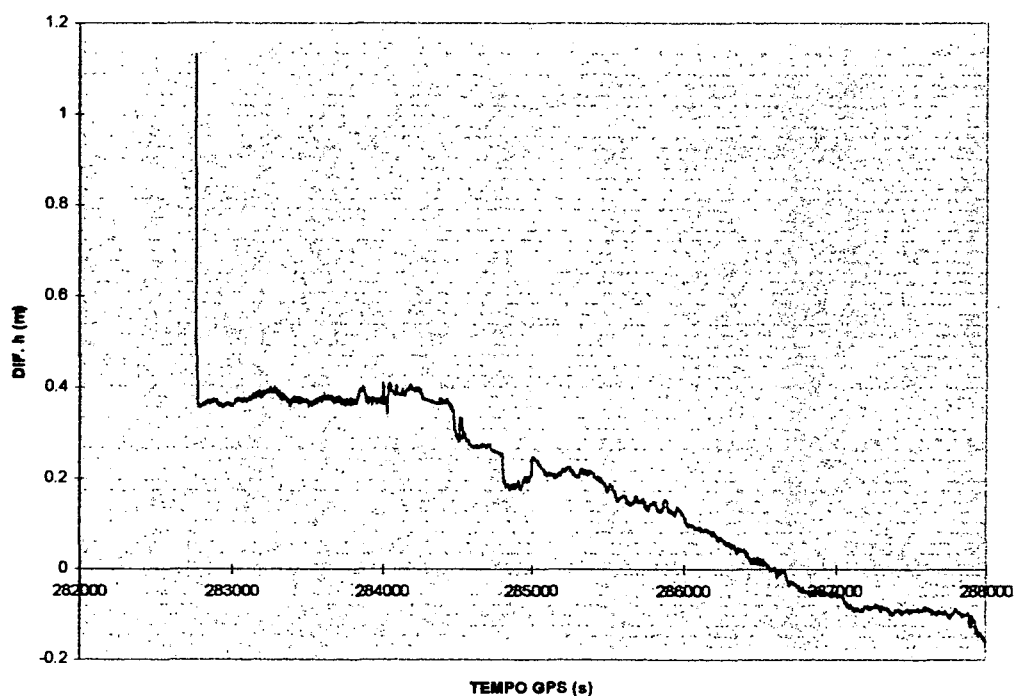


GRÁFICO 40 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS H (BC3-BL)**GRÁFICO 41 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC3-BL)**

Com a comparação dos gráficos obtidos nessa investigação (gráficos 39, 40 e 41) com os gráficos 22 a 24, obtêm-se diferenças entre as coordenadas R, da ordem de - 30 cm a - 40 cm (gráfico 42). Para H (gráfico 43), as diferenças são da ordem de + 8 cm a - 3 cm. Para h (gráfico 44), as diferenças são da ordem de - 20 cm a 30 cm.

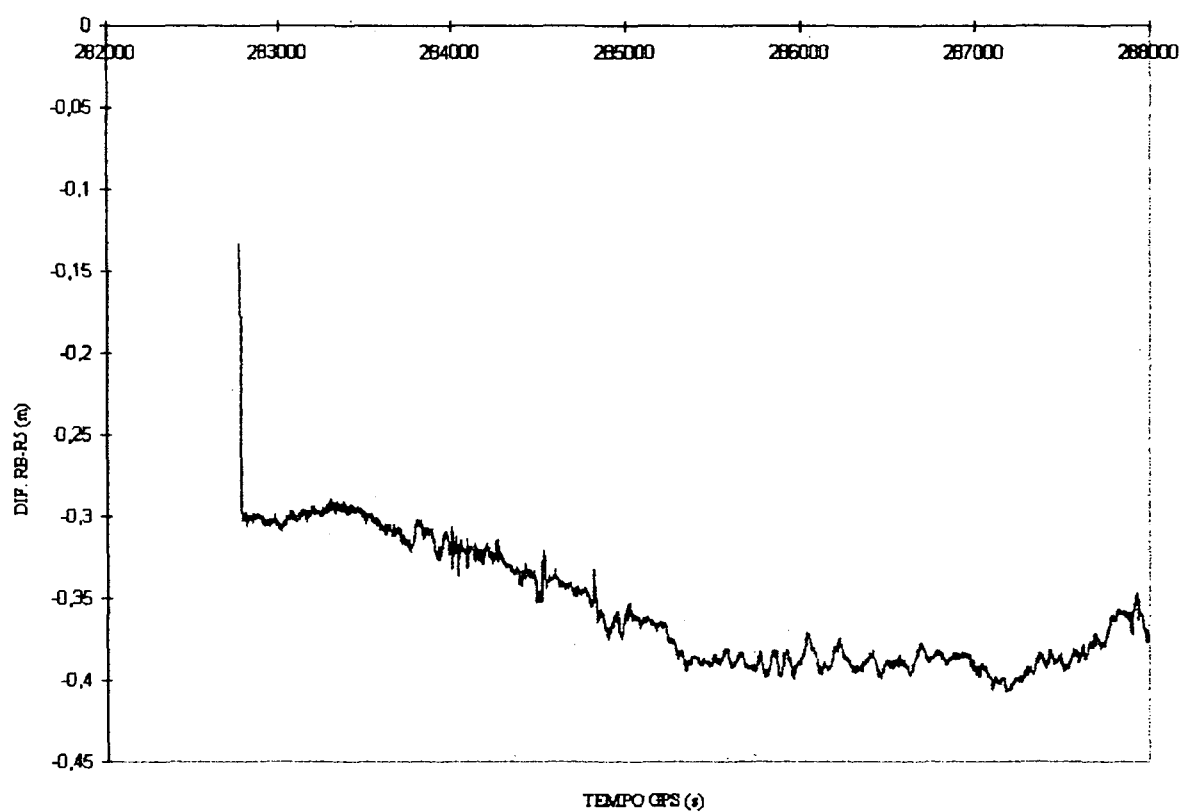
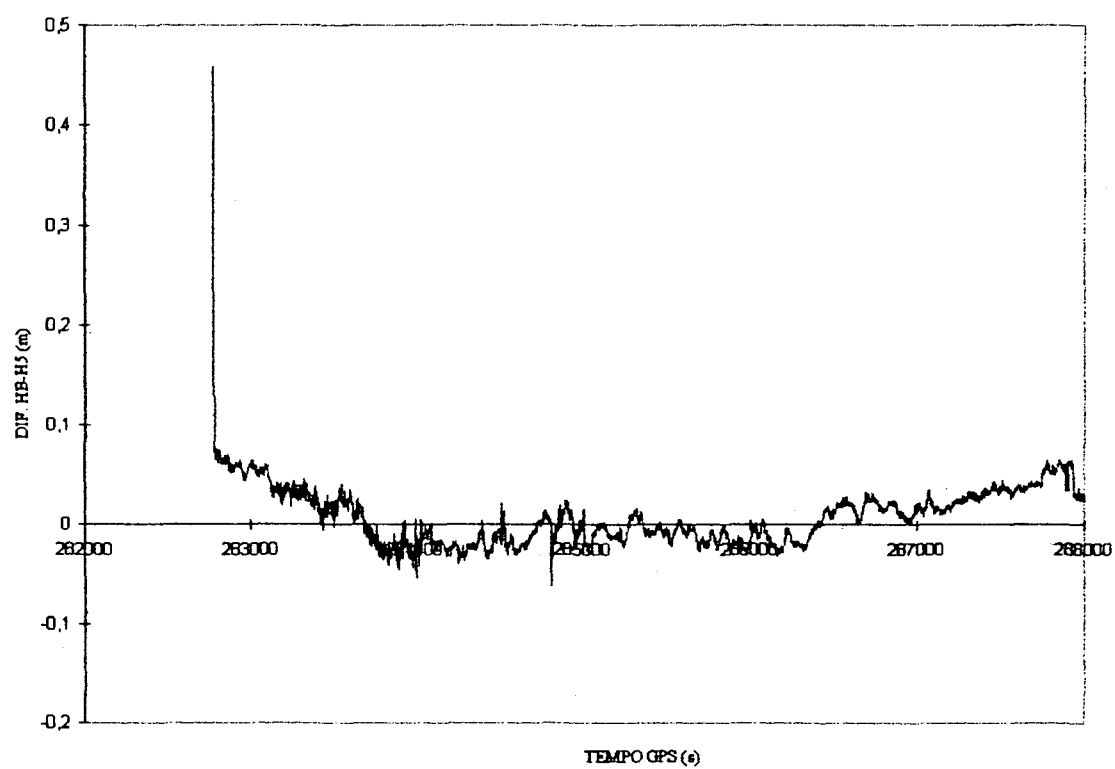
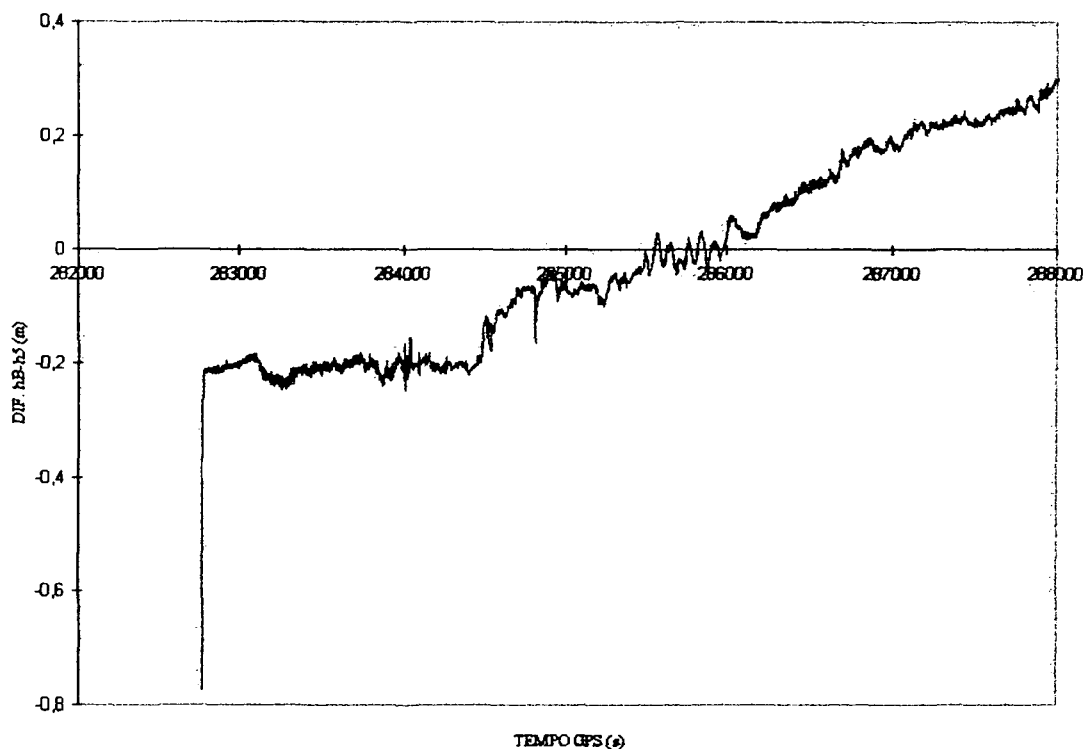
GRÁFICO 42 - ΔR EM FUNÇÃO DO TEMPOGRÁFICO 43 - ΔH EM FUNÇÃO DO TEMPO

GRÁFICO 44 - Δh EM FUNÇÃO DO TEMPO

Utilizando apenas a resolução das ambigüidades com a portadora L_1 , para a solução da trajetória BL, obtém-se resultados satisfatórios e dentro da precisão do PDGPS. Contudo, as diferenças obtidas pela solução onde emprega-se as portadoras L_1 e L_2 na resolução das ambigüidades, foram menores que as obtidas apenas com a portadora L_1 . Como a distância entre as estações de referência e móvel, para a trajetória BL, é da ordem de 226 km (tabela 16), é aconselhável o emprego das duas portadoras para a modelagem dos efeitos troposféricos.

5.4.5.6 6ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA

Essa investigação consiste na análise da precisão para a trajetória BL (MSD8/ASBM) com relação a trajetória BC3 (HELG/ASBM). A primeira, obtida com a utilização das efemérides precisas e a introdução de uma ambigüidade falsa no satélite 12 (ver tabela 20 e 21), e a segunda, com a utilização das efemérides precisas. A metodologia para a resolução das ambigüidades, em ambos os casos, foi a mesma.

Os gráficos obtidos para as diferenças em R, H e h são similares aos gráficos 22 a 24. As diferenças entre as soluções para essa investigação e as obtidas pelas soluções BC3 e

BL3 estão representadas nos gráficos 46 a 48. Elas foram da ordem de centímetros. Para R, as diferenças estão compreendidas de +1,5 cm a - 4,5 cm. Para H, da ordem de 2 cm a 9 cm e para h, de + 2,5 cm a - 6 cm.

GRÁFICO 45 - ΔR EM FUNÇÃO DO TEMPO

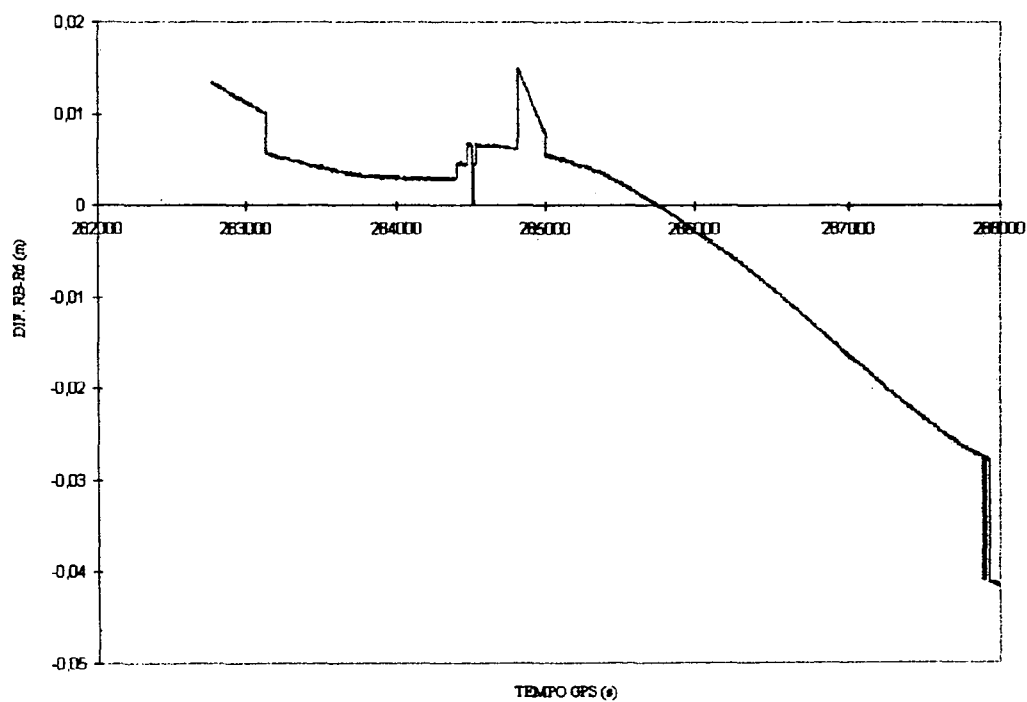


GRÁFICO 46 - ΔH EM FUNÇÃO DO TEMPO

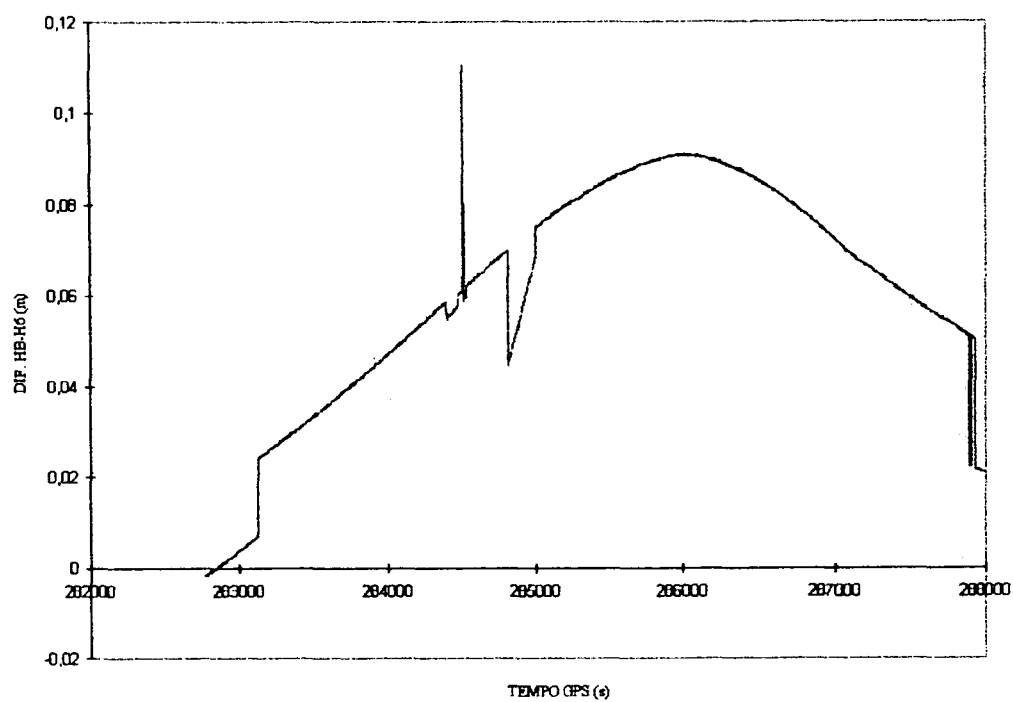
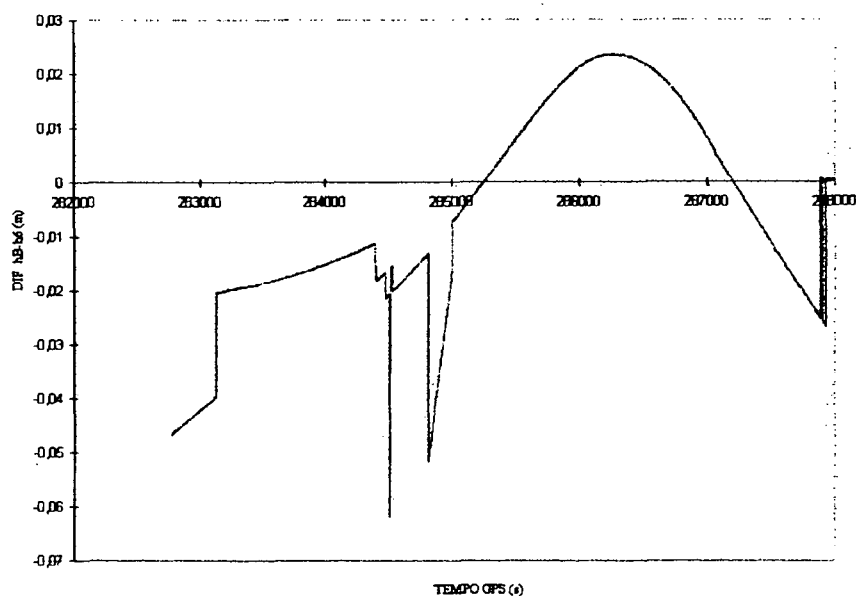


GRÁFICO 47 - Δh EM FUNÇÃO DO TEMPO

A introdução dessa ambigüidade no satélite 12 não causou grandes diferenças entre as soluções. Dos gráficos acima, observa-se que em torno do tempo 285.000 s GPS há variações em R, da ordem de 1 cm; para H, da ordem de 2 cm e para h, da ordem de 4 cm. Como essa modificação, as altitudes foram as mais atingidas. Contudo é da ordem de centímetros, não sendo significativa para levantamentos no ambiente marinho.

5.5 ANÁLISES

As análises, após a realização dessas investigações, conduzem a interessantes conclusões. Verifica-se, inicialmente, que a solução PDGPS fornece realmente uma precisão dentro do esperado, conforme tabela 02, para a trajetória descrita pela embarcação WEGA. Essa precisão relativa está diretamente ligada ao tratamento dos dados, a saber: quanto à necessidade ou não de se aplicar o fator de escala troposférico, à utilização ou não das efemérides precisas, a modelagem dos efeitos ionosféricos, à necessidade de eliminação de algum satélite da constelação atuante no respectivo rastreamento e a outros fatores.

Como se observa na seção 5.4.4.4, as diferenças entre as soluções obtidas utilizando-se as estações HELG x ASBM e MSD8 x ASBM foram para as coordenadas R, inferiores a 7 cm; para as coordenadas H, inferiores a 18 cm, e para as altitudes, inferiores a 20 cm. Pode-se concluir que a precisão alcançada no PDGPS, na solução para a trajetória

BL, foi ótima, principalmente em virtude da distância que separa a estação móvel da estação de referência (226km).

Das análises realizadas anteriormente, verifica-se que as diferenças na utilização ou não das efemérides precisas foram de ordem centimétrica para as trajetórias BC e BL. Diferenças essas, não significativas para as aplicações cinemáticas no âmbito marinho. Contudo, é fundamental a aplicação de efemérides precisas para uma melhoria nas soluções, principalmente para estações de referência distantes entre si, conduzindo a uma minimização das diferenças entre essas soluções.

Na busca da melhor solução para a trajetória BC, verifica-se que as diferenças nas coordenadas obtidas a partir de diferentes processamentos não foram expressivas para os levantamentos nesse meio. Também foi possível uma análise da melhor solução com o auxílio dos desvios padrão obtidos. Observa-se que, com a introdução do fator de escala troposférico eles apresentam valores mais elevados; indicando a fraqueza do sistema quando da introdução desse fator.

As diferenças para as soluções BL também foram de ordem centimétrica. Contudo, constata-se mais facilmente a influência da aplicação do fator de escala troposférico nas altitudes. As diferenças obtidas para essas coordenadas, analisando-se as soluções ,com e sem a sua aplicação, foram mais representativas. Os desvios padrão também mostram a fraqueza do sistema quando da introdução desse fator.

A utilização do modelo troposférico (*Hopfield/Black*), segundo descrito na seções 2.6 e 3.2, é de fundamental importância para os casos em que se trabalha com grandes distâncias entre as estações de referência e móvel. Porém, o fator de escala troposférico pode atuar de forma não satisfatória nas soluções. Verificou-se, para a base longa, resultados piores (diferenças maiores entre soluções BC3 e BL4 - 1INV), principalmente para o intervalo de tempo Δt_1 (para $R < 7$ cm, $H < 20$ cm e $h < 38$ cm) onde houve maiores alterações nas curvas. Sem a aplicação desse fator troposférico para as estações envolvidas, obtêm-se diferenças menores entre BC3 e BL3 (para $R < 7$ cm, para $H < 18$ cm e $h < 20$ cm). Essas diferenças são de ordem centimétrica, mas se observa que sem esse fator a solução é melhor, principalmente para as altitudes.

Pelos resultados obtidos na seção 5.4.4, constatou-se que o intervalo de tempo compreendido entre 282.800 s e 284.000 s (Δt_1) apresentava os valores mais elevados nas diferenças calculadas. Contudo, da ordem de alguns centímetros, não significativos para

levantamentos dessa espécie. Apesar desse trecho representar apenas 25 % da trajetória descrita, optou-se pela realização de algumas investigações. Esse intervalo, apresentou variações mais sensíveis nas altitudes.

Da análise dos gráficos RXPLOT's, verifica-se que há uma constelação de pelo menos 5 satélites, o PDOP está inferior a 5 e não há praticamente perdas de sinal. Porém, verifica-se que 3 satélites, dentro desse intervalo de tempo, estão com uma elevação inferior a 29° e que um desses se encontra em uma trajetória descendente. Observou-se que com a remoção de satélites, as conseqüências podem ser as mais diversas possíveis. Com a remoção de apenas um deles, elas foram de ordem milimétrica; quando da remoção de 2 satélites, observou-se variações centimétricas e com a remoção de 3 satélites da constelação atuante, verifica-se diferenças da ordem de metros e uma degradação da solução com o passar do tempo. Com isso, conclui-se que nem sempre a desativação de um satélite é uma solução viável.

Verificou-se, para o tempo de observação disponível, que não há significativa ação da influência ionosférica durante esses levantamentos. Fato esse, que contribuiu de forma significativa para a qualidade das soluções.

Nos gráficos gerados a partir dos desvios padrão (gráficos 09, 10, 17 e 18), verifica-se um aumento da ordem de alguns centímetros nas curvas, para o intervalo de tempo compreendido entre 284.800 s a 285.000 s GPS. Apesar de apresentar uma variação inferior a 30 cm, é interessante se realizar uma análise. A partir dos gráficos de visibilidade e de elevação dos satélites (03, 04 e 3.1 e 32. do anexo 03), constata-se, em 285.000s, a saída do satélite 27, permanecendo 6 satélites. Com a saída desse satélite, pode ter havido temporariamente uma falsa resolução de ambigüidade pelo programa.

A resolução das ambigüidades com a portadora L_1 gerou para BL uma solução satisfatória (5.4.5.5) e com precisão inferior a almejada pelo PDGPS (figura 02). Contudo, essa solução não supera a solução gerada com a utilização das duas portadoras (L_1 e L_2) na resolução das ambigüidades. A presença dessas duas portadoras, também é fundamental para a modelagem troposférica, minimizando os erros inerentes ao sistema em face da longa distância que separa as estações MSD8 e ASBM.

A ambigüidade introduzida no processamento não causou grandes prejuízos a solução. Ela, acarretou apenas em variações centimétricas.

Após a realização das investigações descritas na seção 5.4 e mediante as análises dos resultados obtidos, constata-se que a melhor solução é a gerada no pós-processamento dos dados, pela aplicação das efemérides precisas com relação às bases (MSD8 x ASBM e HELG x ASBM), a não eliminação de satélites, a resolução das ambigüidades a partir da combinação linear das portadoras e a não aplicação do fator de escala troposférico para qualquer uma das soluções (BL ou BC). Isso equivale aos resultados e análises obtidos na seção 5.4.4.4 (BC3 e BL3).

6. LEVANTAMENTO NA PONTA DO POÇO

6.1 INTRODUÇÃO E SITUAÇÃO DO USO DO DGPS NO BRASIL

No Brasil, algumas instituições públicas e privadas têm utilizado o sistema DGPS para posicionar a embarcação durante os levantamentos batimétricos, assim como para auxílio à navegação. Dentre essas instituições, pode-se citar a Diretoria de Hidrografia e Navegação-DHN e a Companhia Vale do Rio Doce-CVRD. A DHN iniciou, em 1981, com a utilização dos satélites do sistema TRANSIT e, no final da década de 80, passou a utilizar os satélites do sistema NAVSTAR-GPS; atualmente, vem empregando o GPS Diferencial (DGPS).

Há muitos usuários do sistema, porém poucos trabalhos de pesquisa têm sido desenvolvidos nessa área. Hoje em dia, a partir de um convênio estabelecido entre a DHN e a CVRD, foram realizados testes para verificar a viabilidade da implantação de uma rede DGPS utilizando os radiofaróis marítimos. Nos testes realizados com o radiofarol da Ilha Rasa, localizado no Rio de Janeiro, houve êxito. Desde agosto de 1993, as correções DGPS estão sendo transmitidas do radiofarol São Marcos, localizado em São Luís do Maranhão. Estão sendo feitos estudos para a implementação de uma rede com 15 radiofaróis na costa brasileira, com um alcance de 200 milhas náuticas.

Ressalte-se que a DHN é o órgão da Marinha do Brasil designado para executar e controlar qualquer levantamento hidrográfico em águas interiores ou em águas territoriais brasileiras, sendo a edição de cartas náuticas e a execução dos levantamentos para esse fim atribuições exclusivas do referido órgão. Atualmente, há algumas cartas editadas pela DHN, a saber: da costa brasileira, de rios, de pesca, internacionais, batimétricas, meteorológicas e da Antártica.

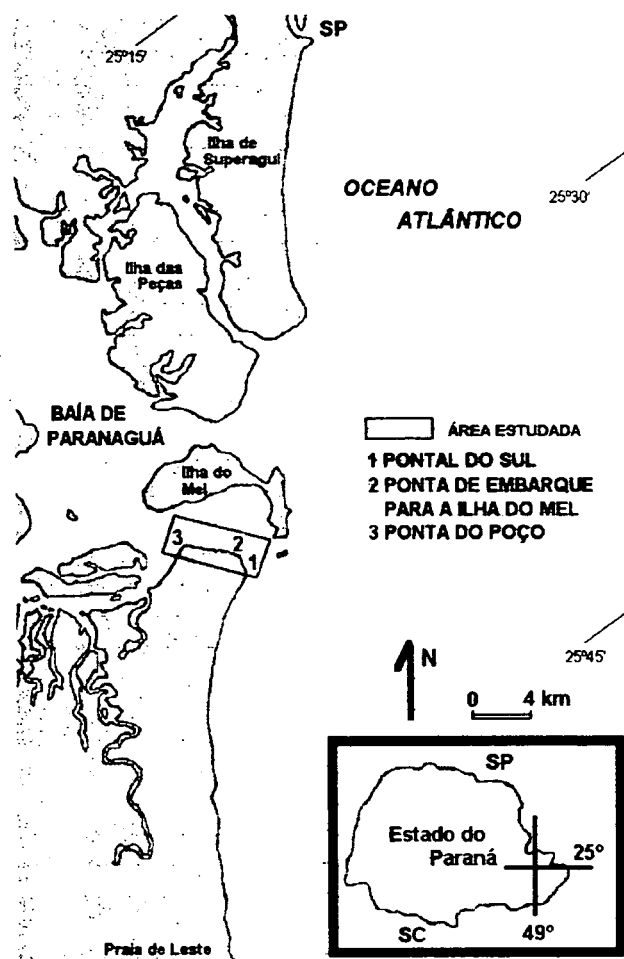
No Brasil, o presente trabalho tem como principais objetivos:

- transferência dos conhecimentos adquiridos na Alemanha, em levantamentos no ambiente marinho;
- adaptação desses conhecimentos e das técnicas para as condições brasileiras;
- investigações quanto a precisão alcançada para a solução com o DGPS Preciso empregando diferentes estações de referência e parâmetros; e
- análise da precisão com o sistema DGPS/Ecobatímetro no levantamento de perfis batimétricos.

A partir de julho de 1996, foram realizados levantamentos terrestres e marítimos no Balneário de Pontal do Sul, município de Pontal do Paraná, junto ao Centro de Estudos do Mar (CEM), ligado diretamente à Universidade Federal do Paraná e oriundo da transformação do antigo Centro de Biologia Marinha (CBM), institucionalizado em 1993. Esses levantamentos foram realizados na área compreendida entre a Ponta de Embarque para a Ilha do Mel e a Ponta do Poço, conforme indicado na figura 39, com as seguintes finalidades:

- implantação de 4 pontos de referência na região;
- verificação, no levantamento cinemático GPS, da capacidade de solução PDGPS;
- levantamento com o GPS da linha de costa na área erosiva da Ponta do Poço; e
- levantamento de perfis batimétricos na região utilizando a conexão dos sistemas DGPS e ecobatímetro.

FIGURA 39 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO
(Elaborado por SOARES, 1996)



No presente trabalho, são analisados os dados coletados em diversos levantamentos, utilizando diferentes estações de referência, taxa de coleta e transmissão de dados. Verifica-se,

a viabilidade ou não da introdução do fator de escala troposférico e dos parâmetros troposféricos atuais (p.ex.: temperatura seca, temperatura úmida e pressão), no pós-processamento dos dados, empregando o programa científico GEONAP-K. Utiliza-se o DGPS para o posicionamento da embarcação integrado ao sistema ecobatimétrico, cuja conexão é feita com base no tempo GPS e através do programa HYPACK. Analisa-se, também, a precisão obtida no levantamento dos perfis, utilizando-se o DGPS, mediante a realização de diferentes levantamentos na área de estudo. A obtenção das coordenadas de pontos de referência implantados nessa área, que serão obtidas através do processamento das linhas de base e utilizando-se diferentes parâmetros.

6.2 SISTEMA DE REFERÊNCIA PARA A COSTA BRASILEIRA

Conforme citado na seção 4.2, o referencial altimétrico brasileiro coincide com a superfície equipotencial que mais se aproxima do nível médio do mar (NMM), definido pelas observações maregráficas tomadas na baía de Imbituba, no litoral do estado de Santa Catarina. Essa é uma caracterização do sistema geodésico brasileiro, citada na Resolução PR nº 22 de 21.07.83 do IBGE.

Para a correta utilização dos dados marítimos, necessita-se adotar um plano de referência, denominado de nível de redução, em relação ao qual são referidas todas as profundidades obtidas, sendo eliminados, dessa forma, os efeitos da maré.

O nível de redução é estabelecido em função das características locais da maré ou do regime de águas de um rio; na DHN, ele para águas marítimas corresponde aproximadamente à média das baixa-mares de sizígia do local, enquanto, no caso dos rios, adota-se o nível correspondente à média das mínimas excepcionais (FELIX, 1996).

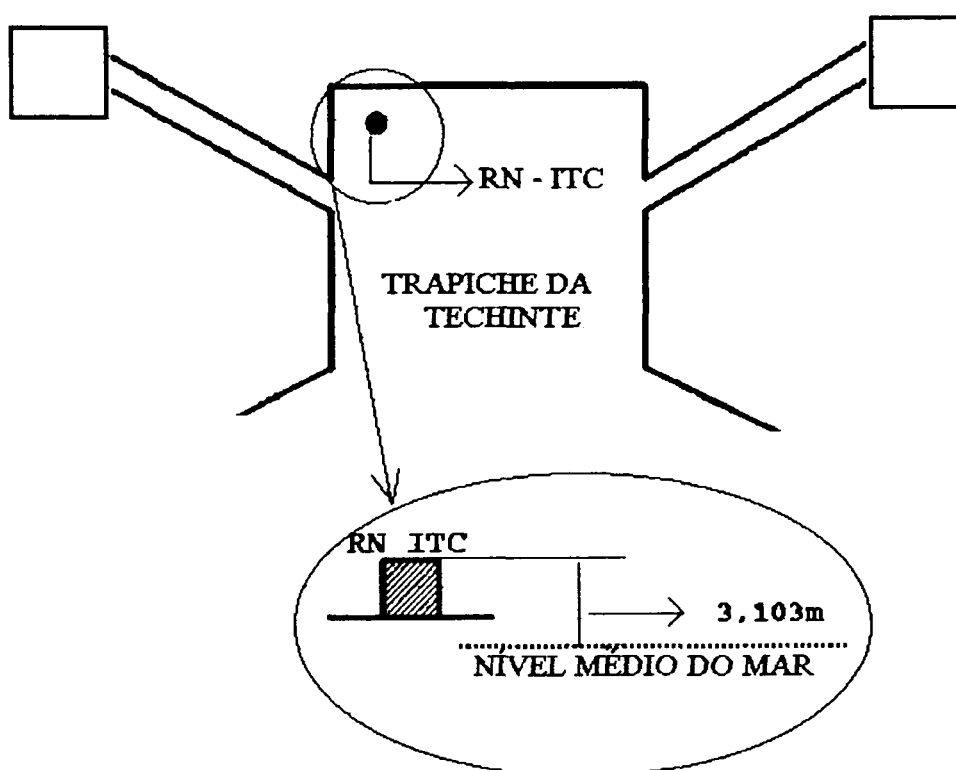
O período ideal de observação para determinação do nível de redução de um local é de 18,6 anos, abrangendo todas as flutuações harmônicas do mar. Uma aproximação razoável do valor correto é obtida no período de um ano (FELIX, 1996).

Para a DHN, as altitudes determinadas num levantamento hidrográfico, como as altitudes das referências de nível (RN) e as altitudes dos faróis e de outros elementos, são referidas ao nível médio do lugar, e as profundidades, ao nível de redução do local.

Porém, há outras instituições, como a Portobrás, que adotam o nível mínimo observado, também chamado de zero hidrográfico.

No presente trabalho, os dados foram referenciados a uma referência de nível (figura 40), implantada pelo antigo Instituto de Terras e Cartografia - ITC -, na região dos levantamentos. Optou-se por esse nível de redução em virtude da não existência de marégrafos no local, mas somente no Porto de Paranaguá. As leituras de maré durante os levantamentos dos perfis foram efetuadas também com relação a essa RN.

FIGURA 40 - REFERÊNCIA DE NÍVEL - ITC
(Fonte: ITC)



Nos levantamentos onde há a utilização do GPS apenas no posicionamento da embarcação, estando ele integrado ao ecobatímetro para a determinação das profundidade, é fundamental as observações maregráficas. E para os casos em que se trabalha com o GPS como um sistema independente (uma estação de referência e a móvel), o nível de referência é definido com relação a antena posicionada na estação de referência (ver figura 20), eliminando-se as leituras maregráficas durante o levantamento.

6.3 LEVANTAMENTO ESTÁTICO

Devido à falta de dados pretéritos na área em estudo, decidiu-se pela implatação de 4 pontos de apoio. Na figura 42, observam-se 3 desses pontos e o quarto ponto encontra-se locado nas dependências do Centro de Estudos do Mar (CEM). Eles, tem as suas coordenadas determinadas através do processamento de linhas de base, utilizando-se o programa científico GEONAP e a partir das coordenadas de um dos pontos no sistema da UFPR.

6.3.1 METODOLOGIA

O primeiro ponto, locado no CEM, foi posicionado com relação ao marco ECC3 localizado em Curitiba, no Campus do Centro Politécnico da UFPR. Esse marco ECC3 é excêntrico em relação ao marco 91.105, pertencente à rede brasileira de monitoramento contínuo (RBMC-IBGE). Ele faz parte de uma rede de 5 pontos implantados na UFPR. Suas coordenadas encontram-se na tabela 22.

TABELA 22 - COORDENADAS DO MARCO ECC3 (WGS84)

ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (m)
ECC3	-25° 26' 54,5754"	-49° 13' 52,1860"	923,878

O rastreamento estático teve duração de 4 horas, com uma taxa de coleta de dados de 15 s. Foram empregados 2 receptores geodésicos *Ashtech Z-XII* (seção 2.7) com as suas respectivas antenas.

Os demais pontos (COPP, TECH e PRPC) foram também posicionados através de rastreamento estático, agora relativos ao marco implantado no CEM, com duração de 1 hora e taxa de coleta de dados também de 15 s. Foram empregados 2 receptores GPS *Ashtech Z-XII* com as suas respectivas antenas. Tais pontos foram implantados com o apoio da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMA. A designação desses pontos está correlacionada com o local de sua implantação, ou seja:

- COPP : Cooperativa de Pesca do Paraná;
- TECH : Techinte; e
- PRPC : Paraná Pesca.

As linhas de base rastreadas encontram-se indicadas na tabela 23.

TABELA 23 - LINHAS DE BASE (DADOS ESTÁTICOS)

<i>LINHA DE BASE</i>	<i>ESTAÇÕES</i>	<i>DISTÂNCIA APROXIMADA ENTRE AS ESTAÇÕES (km)</i>
LB1	ECC3 (Curitiba) e CEM (Pontal do Sul)	90 km
LB2	CEM (Pontal do Sul) e COPP (Pontal do Sul)	1,2 km
LB3	CEM (Pontal do Sul) e TECH (Pontal do Sul)	2,7 km
LB4	CEM (Pontal do Sul) e PRPC (Pontal do Sul)	4,0 km

6.3.2 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Os dados coletados, conforme descrito na seção 6.3.1, foram pós-processados utilizando-se o programa científico *GEONAP-K* (seção 2.8.1). As linhas de base calculadas encontram-se descritas na tabela 23.

6.3.2.1 OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DA ESTAÇÃO CEM

A linha de base processada (LB1) constituiu-se das estações ECC3 (Curitiba) e CEM (Pontal do Sul), descritas na seção 6.3.1, distam entre si cerca de 90 km (tabela 23) e apresentam uma diferença de altitude da ordem de 920 m.

Buscando obter a melhor solução para as coordenadas do CEM, linha de base BL1, realizaram-se alguns processamentos dos dados brutos utilizando o programa *GEONAP* (ver seção 2.8.1), a resolução das ambigüidades empregando a opção + X, as efemérides transmitidas e as precisas; a aplicação ou não do fator de escala troposférico. Na tabela 24, observam-se os diferentes processamentos realizados e na tabela 25 as coordenadas para o CEM obtidas com eles.

TABELA 24 - PROCESSAMENTOS REALIZADOS PARA A OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DO CEM (LB1)

<i>PROCESSAMENTO LB1</i>	<i>EFEMÉRIDES TRANSMITIDAS</i>	<i>EFEMÉRIDES PRECISAS</i>	<i>FATOR DE ESCALA TROPOSFÉRICO</i>
A	S	N	N
B	N	S	N
C	N	S	S / com t
D	N	S	S / com t4

TABELA 25 - COORDENADAS DO CEM (LB1)

<i>PROCESSAMENTO LB1</i>	<i>LATITUDE</i>	<i>LONGITUDE</i>	<i>ALTITUDE</i>
A	25° 34 ' 22,95840" S	48° 21 ' 00,10639" W	2,006 m
B	25° 34 ' 22,95819" S	48° 21 ' 00,10646" W	1,977 m
C	25° 34 ' 22,95821" S	48° 21 ' 00,10611" W	1,970 m
D	25° 34 ' 22,95817" S	48° 21 ' 00,10606" W	1,952 m

Na tabela 26, são indicadas as diferenças calculadas para as coordenadas obtidas com os processamentos da linha de base LB1. Inicialmente, verifica-se as diferenças entre as soluções para os processamentos: A (com as efemérides transmitidas) e B (com as efemérides precisas). Posteriormente, são calculadas as diferenças entre as soluções de B e C (com o fator de escala troposférico); B e D (com o fator de escala troposférico aplicado para 4 horas); e C e D.

TABELA 26 - DIFERENÇAS ENTRE AS SOLUÇÕES OBTIDAS NOS PROCESSAMENTOS (LB1)

<i>DIFERENÇAS PROCESSAMENTO LB1</i>	<i>LATITUDE (cm)</i>	<i>LONGITUDE (cm)</i>	<i>ALTITUDE (cm)</i>
B-A	-0,65	0,22	-2,96
B-C	-0,06	1,08	0,70
B-D	0,06	1,23	2,50
C-D	0,12	0,15	1,80

Verifica-se, pela tabela 26, que as diferenças obtidas foram inferiores a poucos centímetros (3 cm). Também, se pode constatar a importância na aplicação das efemérides

precisas no presente levantamento, principalmente para as altitudes, cuja diferença foi da ordem de aproximadamente 3 cm.

Para uma análise mais completa, indica-se na tabela 27 os desvios padrão obtidos na solução da linha de base LB1, para os diferentes processamentos.

TABELA 27 - DESVIOS PADRÃO OBTIDOS NOS PROCESSAMENTOS (LB1)

PROCESSAMENTO LB1	S_x (cm)	S_y (cm)	S_z (cm)	S_D (cm)
A	0,08	0,09	0,06	0,04
B	0,08	0,09	0,05	0,03
C	0,26	0,31	0,18	0,07
D	0,31	0,38	0,23	0,08

Com os dados indicados na tabela 27, pode-se observar que os menores desvios padrão para as coordenadas relativas e para as distâncias entre os pontos, ocorrem para o processamento B da LB1. Ele consiste no processamento da linha de base utilizando as efemérides precisas e sem a presença do fator de escala troposférico. Nos processamentos C e D, observa-se uma elevação dos valores dos desvios padrão. Tal fato, decorre da aplicação do fator de escala troposférico para uma hora (t - processamento C) e para 4 horas (t4 - processamento D). Com a sua introdução, sabe-se que há um enfraquecimento da solução e que ele atua principalmente nas altitudes.

Com os valores obtidos nas tabelas 26 e 27, constata-se que o processamento B é quem fornece as melhores coordenadas para o marco CEM.

6.3.2.2 OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DA ESTAÇÃO COPP

As estações CEM e COPP, situadas em Pontal do Sul, e descritas na seção 6.3.1 constituem a linha de base processada (LB2). Elas distam entre si cerca de 1,2 km (tabela 23).

Utilizando o programa GEONAP (ver seção 2.8.1), empregando a opção + X para a resolução das ambigüidades; e a aplicando ou não o fator de escala troposférico foram realizados os processamentos dos dados brutos; com a finalidade de se obter a melhor solução para as coordenadas do COPP, linha de base BL2. Nela, não foram empregadas as efemérides precisas em face da curta distância que separa as estações. Aplicou-se, o fator de escala

troposférico apenas para uma hora, em virtude desse rastreio ter tido uma hora de duração. Observam-se, na tabela 28, os diferentes processamentos realizados; e na tabela 29, as coordenadas para o COPP obtidas com eles.

TABELA 28 - PROCESSAMENTOS REALIZADOS PARA A OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DO COPP (LB2)

<i>PROCESSAMENTO LB2</i>	<i>EFEMÉRIDES BROADCAST</i>	<i>FATOR DE ESCALA TROPOSFÉRICO</i>
A	S	N
B	S	S / com t

TABELA 29 - COORDENADAS DO COPP (LB2)

<i>PROCESSAMENTO LB2</i>	<i>LATITUDE</i>	<i>LONGITUDE</i>	<i>ALTITUDE</i>
A	25° 33 ' 52,15332" S	48° 21 ' 24,20965" W	2,082 m
B	25° 33 ' 52,15315" S	48° 21 ' 24,20983" W	2,026 m

As diferenças entre as soluções (A-B), obtidas para as coordenadas com os processamentos da linha de base LB2, foram iguais a :

$$\Delta\phi = 0,52 \text{ cm},$$

$$\Delta\lambda = -0,56 \text{ cm}, \text{ e}$$

$$\Delta h = 5,6 \text{ cm}.$$

Comprova-se mais uma vez, que a aplicação do fator de escala troposférico atua principalmente nas altitudes. As diferenças entre as latitudes e longitudes foram inferiores ao centímetro. Na tabela 30, indica-se os desvios padrão para as coordenadas relativas e para as distâncias entre os pontos que ocorrem nos processamentos da LB2, após a utilização do programa GEONAP no pós-processamento dos dados.

TABELA 30 - DESVIOS PADRÃO OBTIDOS NOS PROCESSAMENTOS (LB2)

<i>PROCESSAMENTO LB2</i>	<i>S_x(cm)</i>	<i>S_y(cm)</i>	<i>S_z(cm)</i>	<i>S_d(cm)</i>
A	0,18	0,23	0,14	0,11
B	0,61	0,58	0,49	0,16

Com os valores obtidos nas diferenças e na tabela 30, constata-se que o processamento A é quem fornece as melhores coordenadas para o marco COPP. Nesse processamento, observa-se os menores desvios padrão e não se utilizou o fator de escala troposférico.

6.3.2.3 OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DA ESTAÇÃO TECH

A linha de base processada (LB3) constituiu-se das estações CEM (Pontal do Sul) e TECH (Pontal do Sul), descritas na seção 6.3.1, distam entre si cerca de 2,7 km (tabela 23).

Buscando obter a melhor solução para as coordenadas do TECH, linha de base LB3, segue-se a mesma metodologia descrita em 6.3.2.2, para o processamento dessas estações. Eles, foram realizados conforme os da tabela 28, seção 6.3.2.2. Na tabela 31, observam-se as coordenadas para o TECH obtidas com os processamentos A e B, para a linha de base LB3.

TABELA 31 - COORDENADAS DO TECH (LB3)

<i>PROCESSAMENTO LB3</i>	<i>LATITUDE</i>	<i>LONGITUDE</i>	<i>ALTITUDE</i>
A	25° 33 ' 09,12006" S	48° 21 ' 52,11569" W	3,473 m
B	25° 33 ' 09,12001" S	48° 21 ' 52,11580" W	3,364 m

As diferenças entre as soluções (A-B), obtidas para as coordenadas com os processamentos da linha de base LB3, foram iguais a :

$$\Delta\phi = 0,15 \text{ cm,}$$

$$\Delta\lambda = -0,34 \text{ cm, e}$$

$$\Delta h = 10,9 \text{ cm.}$$

As diferenças entre as latitudes e longitudes foram inferiores ao centímetro. E, as diferenças entre as altitudes foram da ordem de centímetros, comprovando o enfraquecimento da solução quando da aplicação do fator de escala troposférico, atuando nelas diretamente. Na tabela 32, indica-se os desvios padrão para as coordenadas relativas e para as distâncias entre os pontos que ocorrem para os processamentos da LB3, após a utilização do programa GEONAP no pós-processamento dos dados.

TABELA 32 - DESVIOS PADRÃO OBTIDOS NOS PROCESSAMENTOS (LB3)

<i>PROCESSAMENTO LB3</i>	<i>S_x (cm)</i>	<i>S_y (cm)</i>	<i>S_z (cm)</i>	<i>S_D (cm)</i>
A	0,18	0,23	0,14	0,11
B	0,46	0,49	0,34	0,07

Com os valores obtidos nas diferenças e na tabela 32, constata-se que o processamento A (sem fator de escala troposférico) é quem fornece as melhores coordenadas para o marco TECH. Nesse processamento, observa-se os menores desvios padrão e não se utiliza o fator de escala troposférico.

6.3.2.4 OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DA ESTAÇÃO PRPC

As estações CEM e PRPC, situadas em Pontal do Sul, e descritas na seção 6.3.1 constituem a linha de base processada (LB4). Elas, distam entre si cerca de 4,0 km (tabela 23).

Para o processamento dessas estações da linha de base LB4, segue-se a metodologia descrita em 6.3.2.2 e os processamentos foram realizados conforme os indicados na tabela 28, seção 6.3.2.2. Na tabela 33, observam-se as coordenadas para o PRPC obtidas com os processamentos A e B, para a linha de base LB4.

TABELA 33 - COORDENADAS DO PRPC (LB4)

<i>PROCESSAMENTO LB4</i>	<i>LATITUDE</i>	<i>LONGITUDE</i>	<i>ALTITUDE</i>
A	25° 32 ' 42,53115" S	48° 22 ' 31,22106" W	2,463 m
B	25° 32 ' 42,53100" S	48° 22 ' 31,22072" W	2,184 m

As diferenças entre as soluções (A-B), obtidas para as coordenadas com os processamentos da linha de base LB4, foram iguais a :

$$\Delta\phi = 0,46 \text{ cm,}$$

$$\Delta\lambda = 1,05 \text{ cm, e}$$

$$\Delta h = 27,9 \text{ cm.}$$

As diferenças entre as latitudes e longitudes foram inferiores ao centímetro. E, as diferenças entre as altitudes foram da ordem de alguns centímetros (< 28 cm). Ao se analisar

os processamentos das linhas de base LB1, LB2 e LB3, verifica-se que a medida que as distâncias entre as estações envolvidas no processamento aumentam, as diferenças entre as coordenadas também se elevam, principalmente para as altitudes. Na tabela 34, indica-se os desvios padrão para as coordenadas relativas e para as distâncias entre os pontos que ocorrem para o processamento da LB4, após a utilização do programa GEONAP no pós-processamento dos dados.

TABELA 34 - DESVIOS PADRÃO OBTIDOS NOS PROCESSAMENTOS (LB4)

<i>PROCESSAMENTO LB4</i>	<i>S_x (cm)</i>	<i>S_y (cm)</i>	<i>S_z (cm)</i>	<i>S_D (cm)</i>
A	0,37	0,37	0,43	0,26
B	1,10	1,32	0,89	0,20

Com os valores obtidos nas diferenças com os da tabela 34, constata-se que o processamento A é quem fornece as melhores coordenadas para o marco PRPC. Os menores desvios padrão são apresentados por esse processamento.

6.3.2.5 COORDENADAS FINAIS PARA AS ESTAÇÕES

Mediante os processamentos realizados e citados nas seções 6.3.2.1 a 6.3.2.4, indica-se na tabela 35 um resumo das coordenadas geográficas obtidas para os pontos estáticos levantados. Elas, estão determinadas no sistema da UFPR.

TABELA 35 - COORDENADAS GEOGRÁFICAS

<i>PONTOS</i>	<i>COORDENADAS</i>		
	<i>LATITUDE</i>	<i>LONGITUDE</i>	<i>ALTITUDE (m)</i>
CEM	-25° 34' 22,9582"	-48° 21' 00,1065"	1,977
COPP	-25° 33' 52,1533"	-48° 21' 24,2096"	2,082
TECH	-25° 33' 09,1201"	-48° 21' 52,1157"	3,473
PRPC	-25° 32' 42,5312"	-48° 22' 31,2211"	2,463

Pretende-se, futuramente, refazer esses rastreios simultâneos utilizando-se não apenas um, mas pelo menos dois pontos de coordenadas conhecidas. Pode-se utilizar, por exemplo

dois pontos da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). As suas coordenadas, serão então obtidas através de um ajustamento e não mais como linhas de base.

Na seqüência, observa-se que o ponto CEM é de extrema importância, pois atuará como estação de referência na área em estudo para o posicionamento da embarcação com relação ao sistema DGPS.

6.4 LEVANTAMENTO DA LINHA DE COSTA

Nas áreas costeiras do Paraná há grandes variações da linha de costa. Ela, é o limite entre o continente e a porção adjacente ao mar onde não há efetiva ação marinha no alcance máximo das ondas, concretizando-se pela presença de falésias, no limite entre a vegetação e a praia, ou nos costões rochosos, ou por qualquer outra feição que marque o início da área continental. Essa linha pode sofrer uma progradação ou um recuo (erosão) (SUGUIO, 1992; ANGULO, 1994)⁴⁵.

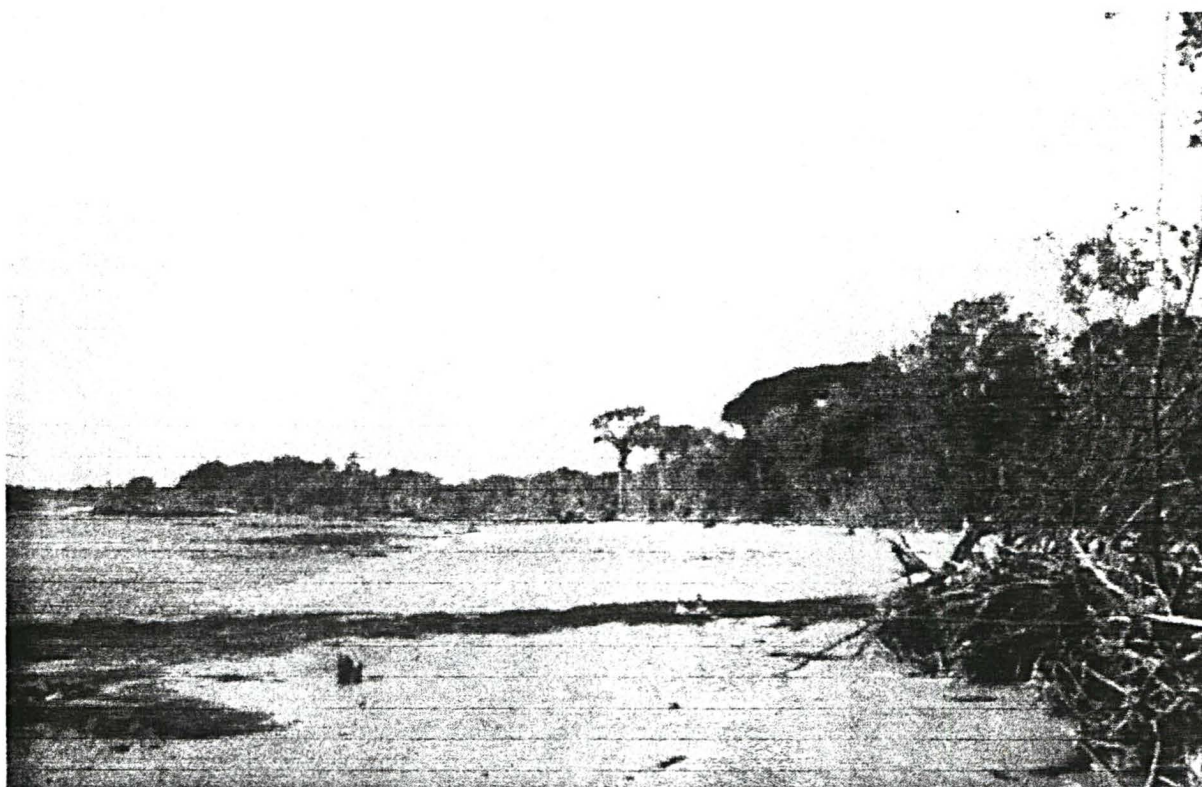
Essas variações tem sido uma constante preocupação para o CEM e para os órgãos estaduais. Muitos métodos (p.ex.: comparação entre fotos aéreas de diferentes datas, medições periódicas com o teodolito ou nível de precisão) podem e tem sido utilizados na detecção dessas variações; porém, em termos de Brasil ainda não se verificou a utilização do sistema GPS no processo.

Com o objetivo de aplicar o GPS na detecção da variação da linha de costa, verificando a sua viabilidade; de obter maiores informações sobre a área em estudo, em face da falta de dados atuais; e de manter um cadastro atualizado dessa linha de costa optou-se pela introdução desse levantamento no presente trabalho.

O GPS foi empregado para monitorar a variação da linha de costa detectada na região entre a Ponta de Embarque para a Ilha do Mel e a Ponta do Poço, no Balneário Pontal do Sul, município de Pontal do Paraná - PR. A erosão, nessa região, é marcada pela presença de falésias com árvores tombadas e muros de proteção nas casas fronteiriças ao mar (figura.41).

⁴⁵ Citado por SOARES, 1995.

FIGURA 41 - PRESENÇA MARCANTE DA EROSÃO NA ÁREA EM ESTUDO



6.4.1 METODOLOGIA

Em julho de 1996, foi realizado um levantamento cinemático contínuo da atual linha de costa, com a utilização de 2 receptores GPS *Ashtech Z-XII*, uma antena geodésica e uma cinemática. Empregou-se, como estação de referência (base), o marco implantado no CEM, com uma taxa de coleta de dados igual a 3s. A escolha dessa taxa de coleta de dados, foi consequência da pouca capacidade de memória de armazenamento dos dados nos receptores (2Mb) e à não disponibilidade de computadores para a descarga automática em ambas as estações. A estação móvel, nesse caso, fica caracterizada por uma pessoa percorrendo a costa a pé numa velocidade média de 4km/h, com um receptor *Ashtech Z-XII* e a antena cinemática devidamente instalados na mochila *Ashtech*.

A linha de costa foi percorrida em dois sentidos: ida e volta. Nesses levantamentos cinemáticos, realizou-se a inicialização permanendo 5 minutos no ponto inicial das trajetórias a serem descritas (ida e volta). Procurou-se manter a sintonia com pelo menos 4 satélites, utilizar dados de dupla frequência e a combinação dos códigos com as portadoras. Esses fatores, são

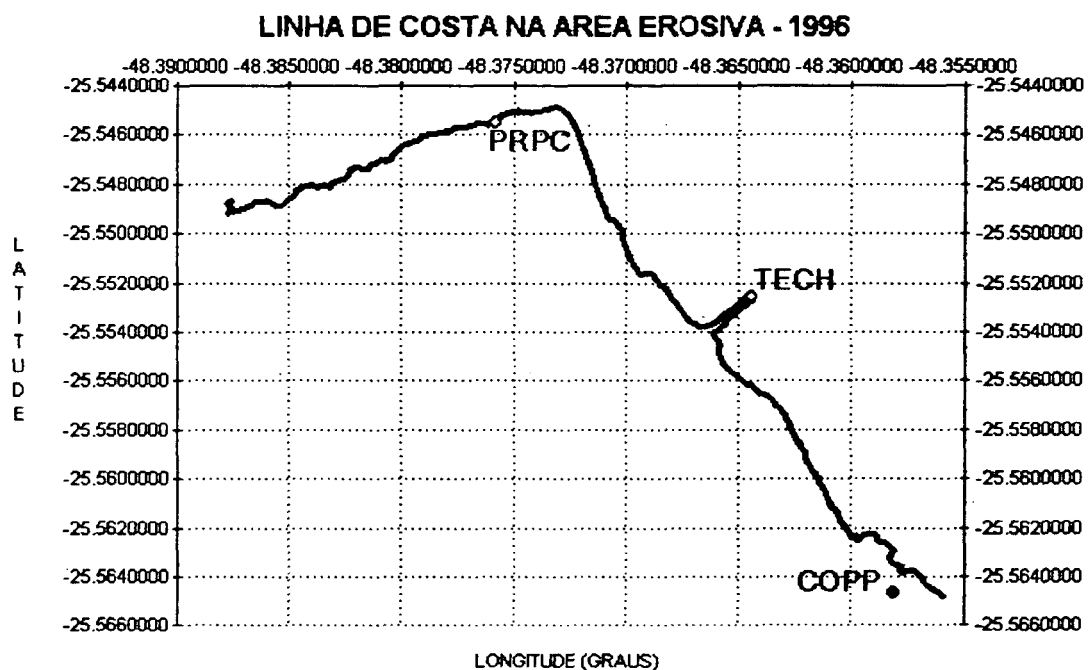
de extrema importância para quando se deseja recuperar os *Cycles Slips* no método cinemático (SEEBER, 1993). Quando foi detectada a recepção do sinal de no máximo 3 satélites, procurou-se recuperar o sinal de pelo menos mais um satélite. Em geral, foi realizada uma parada com um tempo de observação igual a 1 segundo.

Na figura 46, observa-se uma área crítica para o intervalo de tempo compreendido entre 11 h e 55 m a 12 h e 08 m (Δt_1). Nessa área, foi detectada a presença de obstáculos (vegetação densa) que dificultaram a perfeita sintonia com pelo menos 4 satélites. Nos demais instantes de observação houve pequenas perdas de sinais, mas de forma geral manteve-se a sintonia com pelo menos 4 satélites e no máximo com 7 satélites.

6.4.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS E RESULTADOS OBTIDOS

O pós-processamento dos dados coletados foi realizado através do programa PRISM, tendo-se obtido o contorno da linha de costa observado na figura 42. O método de procura das ambigüidades utilizado por esse programa, nesse processamento, foi o *PNAV Search*, que se baseia na técnica *OTW* e é utilizado quando a distância entre as estações é inferior a 15 km (PRISM, 1995).

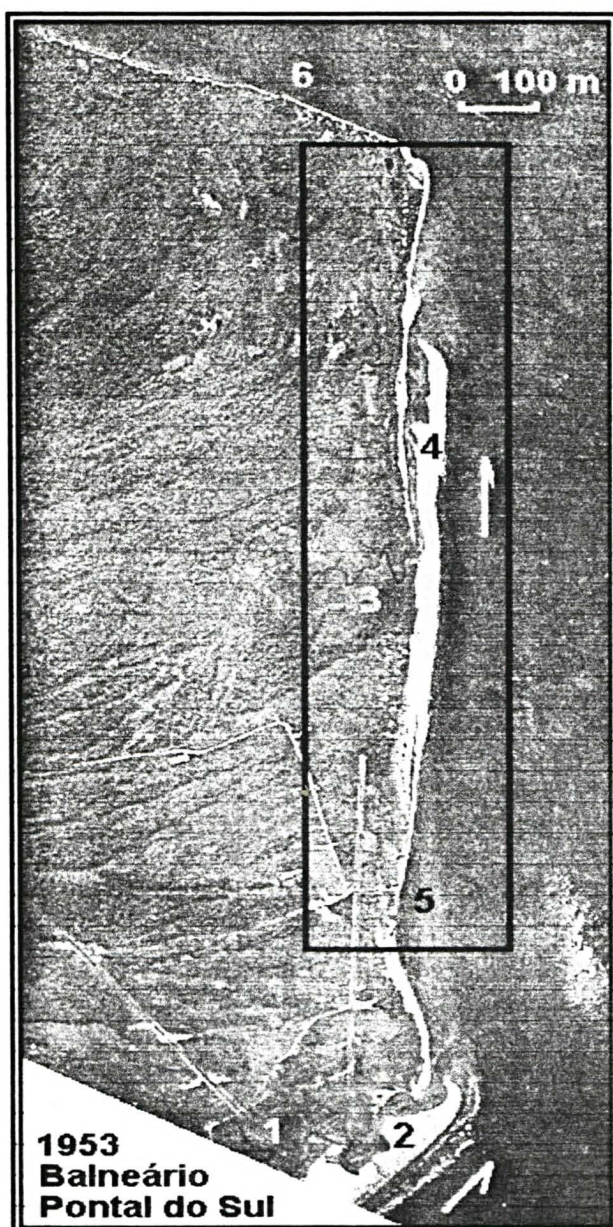
FIGURA 42 - LINHA DE COSTA OBTIDA COM O SISTEMA GPS EM 1996
(COORDENADAS NO SISTEMA ESTABELECIDO)



6.4.3 ANÁLISE DOS DADOS

Na figura 43, observa-se a situação do Balneário Pontal do Sul em 1953, início de sua ocupação, na qual se verifica a presença de esporões na foz dos rios Perequê e Penedo, cuja morfologia indica um sentido de transporte de sedimentos do mar aberto para os setores internos da Baía de Paranaguá.

FIGURA 43 - SITUAÇÃO DO BALNEÁRIO PONTAL DO SUL EM 1953
(Elaborada por SOARES - CEM)

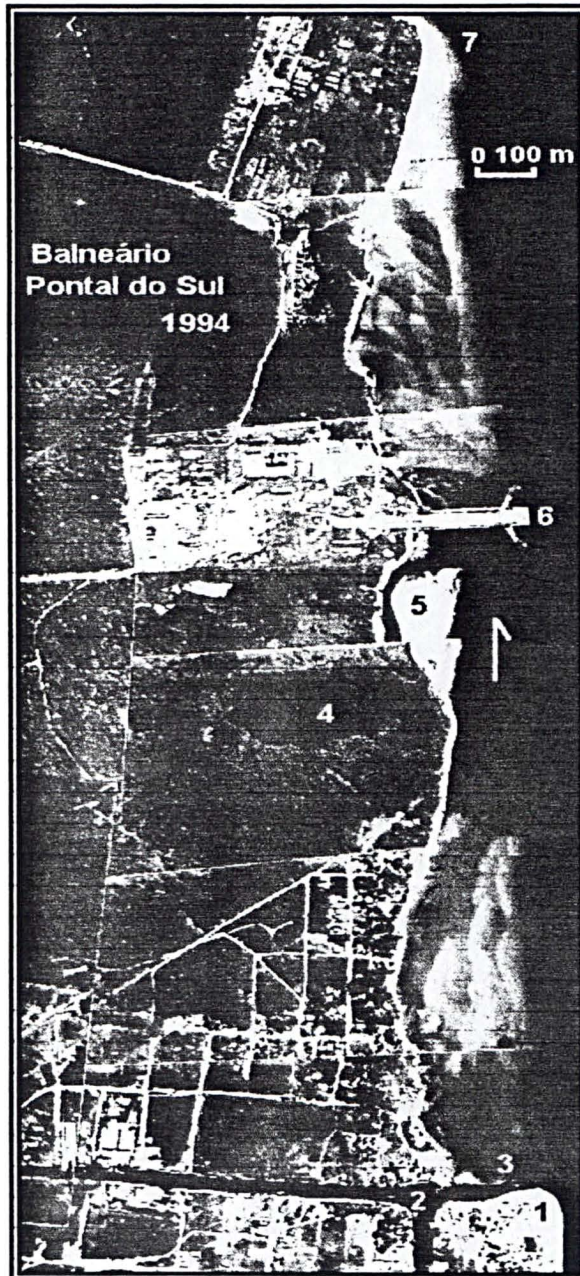


REGIÃO: PONTA DO POÇO:

- (1) rio Perequê;
- (2) esporão da foz do rio Perequê;
- (3) rio Penedo;
- (4) esporão da foz do rio Penedo;
- (5) local onde, posteriormente, estará situada a Ponta de Embarque para a Ilha do Mel. O sentido do transporte de deriva litorânea acha-se indicado pelas setas, ou seja, do mar aberto para os setores internos da Baía de Paranaguá. A área retangular representa o trecho de costa detalhado na figura 44.

A situação do, balneário, no ano de 1994, está indicada na figura 44. Observa-se que as feições geomorfológicas anteriormente verificadas foram alteradas, em função das atividades do homem efetuadas na região.

FIGURA 44 - SITUAÇÃO DO BALNEÁRIO PONTAL DO SUL EM 1994
(Elaborada por SOARES - CEM)

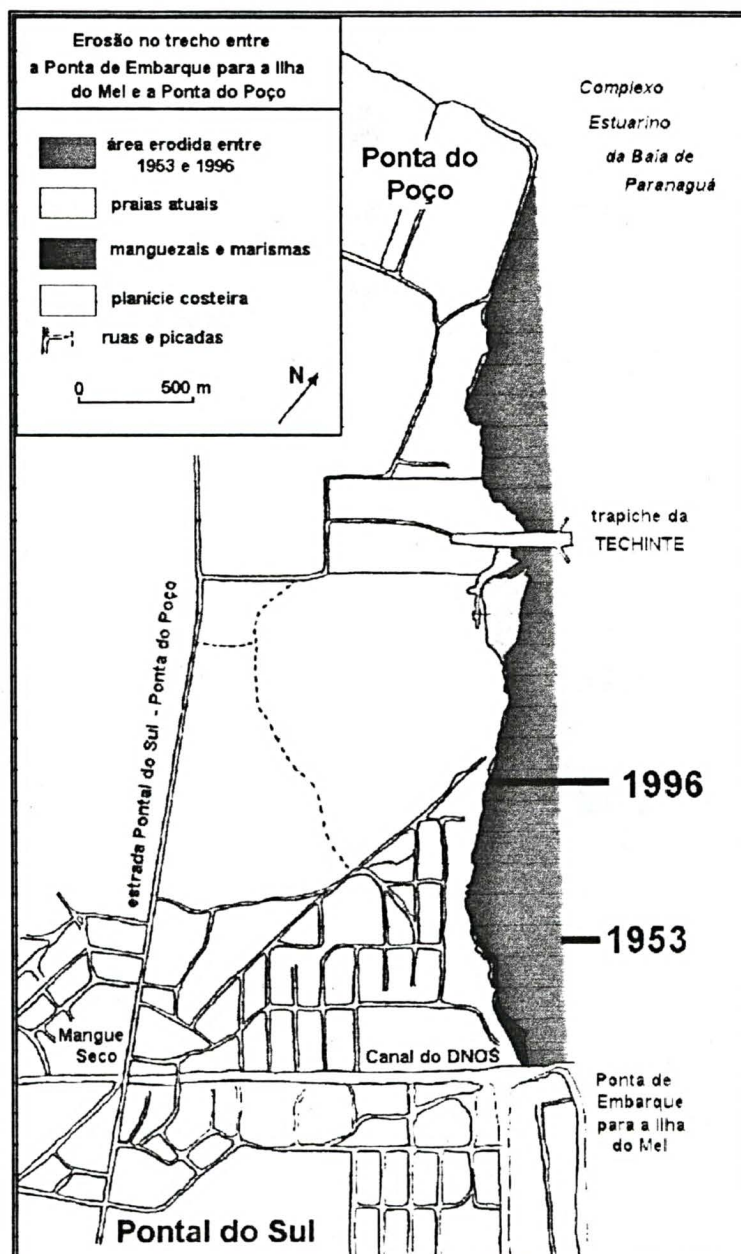


- (1) Ponta de Embarque para a Ilha do Mel;
 - (2) rio Perequê desviado para o Canal do DNOS;
 - (3) Dique de contenção para a estabilização da foz do canal;
 - (4) rio Penedo;
 - (5) esporão da foz do rio Penedo;
 - (6) trapiche da TECHINTE;
 - (7) Ponta do Poço.
- O sentido do transporte de deriva litorânea acha-se indicado pelas setas.

A linha de costa obtida a partir desse levantamento cinemático e as linhas de costa anteriormente determinadas possibilitaram realizar uma avaliação da área erodida, da área

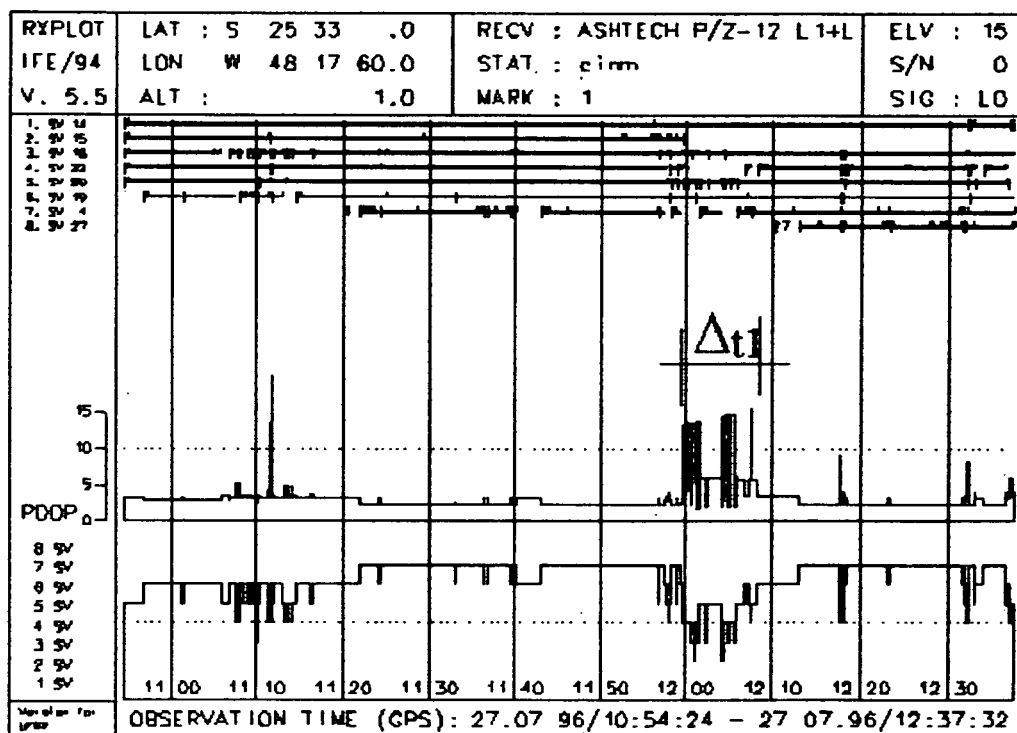
progradada e da taxa de recuo. A área total erodida entre 1953 e 1996 foi estimada em 373 km²; a progradação da linha de costa próxima à Ponta do Poço foi da ordem de aproximadamente 3.970 m², tendo havido um recuo máximo de 250 m na área próxima à Ponta de Embarque para a Ilha do Mel, resultando numa taxa média anual de 5,8 m/ano (figura 45).

FIGURA 45- SOBREPOSIÇÃO DA LINHA DE COSTA DE 1953 E 1996
(Elaborada por SOARES - CEM)



A análise dos resultados obtidos, com o pós-processamento dos dados, para este levantamento cinemático contínuo da linha de costa, indica que as discrepâncias entre as trajetórias de ida e volta foram em 75% dos casos inferiores a 6 cm e que em 14% encontram-se entre 1 m e 6 cm. Nos 11% restantes estas discrepâncias foram superiores a 1 m; para este caso verifica-se que houve perdas de sinais (presença de no máximo 4 satélites) durante o caminhamento ao longo da linha de costa. Essas discrepâncias mais elevadas ocorreram no intervalo de tempo compreendido entre 11 h e 55m a 12 h e 08 m (Δt_1), que conforme a figura 46 é a região mais afetada pelas perdas de sinal.

FIGURA 46 - VISIBILIDADE DOS SATÉLITES E INFORMAÇÕES SOBRE AS PERDAS DE CICLOS E SOBRE O PDOP NA ESTAÇÃO MÓVEL



Embora o sistema GPS seja preciso e prático, nem sempre é possível percorrer exatamente a linha de costa, devido aos obstáculos que se apresentam nessa região, contribuindo também para as perdas do sinal GPS.

Para a área percorrida no intervalo de tempo Δt_1 , verifica-se a necessidade de efetuar o levantamento em um período em que se possa contar com o maior número de satélites possíveis (p.ex. 8 ou 9 satélites).

6.5 LEVANTAMENTO DOS PERFIS COM O SISTEMA DGPS

Na área compreendida entre a Ponta de Embarque para a Ilha do Mel e a Ponta do Poço, foram realizados levantamentos hidrográficos buscando explorar, medir e descrever o relevo submarino. Nesses levantamentos, utilizou-se o sistema DGPS para o posicionamento bidimensional da embarcação acoplado ao sistema ecobatímetro, para o levantamento das profundidades.

Esses levantamentos, tem como objetivos uma análise dos resultados e das precisões alcançadas com estes sistemas (DGPS/Ecobatímetro), bem como a aplicação de métodos adequados para o levantamento dos perfis. A precisão será verificada mediante a análise das profundidades nos pontos de interseção, que são obtidos pelos perfis longitudinais e transversais a linha de costa. Também, pretende-se verificar o tempo de sincronização obtido com esse sistema.

6.5.1 EQUIPAMENTOS

Nesses levantamentos, foram utilizados os equipamentos relacionados a seguir:

- receptores GPS do tipo *Ashtech Z-XII*,
- sistema de comunicação;
- computador ; e
- ecobatímetro.

Na seqüência apresenta-se as principais características desses equipamentos:

- Receptores *Ashtech Z-XII*

As características desses receptores geodésicos foram citadas nas seções 2.7 e 5.3.1. Na grande maioria dos levantamentos, foram utilizados os dois receptores pertencentes à UFPR, os quais possuem módulo diferencial. Em alguns casos, foi necessário recorrer à COPEL para o empréstimo de seus receptores *Ashtech Z-XII*. A esses foram acopladas antenas geodésica e cinemática.

- Sistema de comunicação

Foi utilizado um par de rádios *Pacific*, operando com uma potência de 35 W e 2 W, na faixa de UHF em FM, os quais permitem receber ou transmitir mensagens. Através de conectores adequados, podem ser ligados a alimentação (bateria de 12V) e a antena. Esses equipamentos trabalham com uma velocidade de 4.800 bps e são conectados aos receptores GPS via porta serial RS232. Utilizaram-se antenas onidirecionais.

- Computador

Foi utilizado um computador Laptop 486 (Satellite T2110CS - *Toshiba*), com a finalidade de coletar os dados do receptor GPS e do ecobatímetro, simultaneamente e em tempo real. Nele foi instalado o programa HYPACK (seção 2.8.6).

- Ecobatímetro

Empregou-se um ecobatímetro modelo SDH-13A, portátil e preciso, que utiliza ondas ultra-sônicas para determinar a profundidade, opera numa frequência de 208 kHz, realiza medidas para uma profundidade mínima de 0,35 m e máxima de 123 m, segundo as informações técnicas. Os dados coletados nos levantamentos são registrados em ecogramas. Conta-se com um transdutor de borda, de feixe único e com uma abertura de 8° (+/- 1°) (figura 47 e 48). Instalado ao SDH-13A, tem-se o DIGITRACE, o qual fornece as profundidades de forma digital, bem como possibilita a entrada de dados da velocidade do som na água (ver seção 4.4.5) e as correções do deslocamento vertical estático (calado do barco). Conecta-se esse sistema ao computador via porta serial RS 232.

Para os levantamentos dos perfis batimétricos, contou-se, ainda, com a embarcação GEO, que consiste em uma voadeira Marajó de 16 pés e com uma potência de 60 HP (figura 48), pertencente ao Laboratório de Oceanografia Geológica-LOGEO do CEM, gentilmente emprestada e designada para auxiliar nas coletas dos dados desses levantamentos.

6.5.2 ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA

Nesses levantamentos, a estação de referência foi instalada no marco CEM, localizado no Centro de Estudos do Mar, descrito na seção 6.3. Nessa estação, instalou-se um receptor *Ashtech Z-XII*, o rádio *Pacific*, com uma potência igual a 35W, e os seus acessórios.

6.5.3 ESTAÇÃO MÓVEL

A estação móvel para esses levantamentos constituiu-se da embarcação GEO, onde foram instalados: um receptor *Ashtech Z-XII* conectado a uma antena cinemática, um ecobatímetro, um rádio *Pacific* de 2W e um *laptop*, descritos na seção 6.5.1. Nessa estação, a antena cinemática foi disposta de forma centrada em relação ao transdutor (seção 4.4.1). Na figura 47, observa-se a estação móvel, e nas figuras 48 e 49, a localização da antena cinemática e do transdutor de borda na embarcação.

FIGURA 47 -ESTAÇÃO MÓVEL NA EMBARCAÇÃO GEO

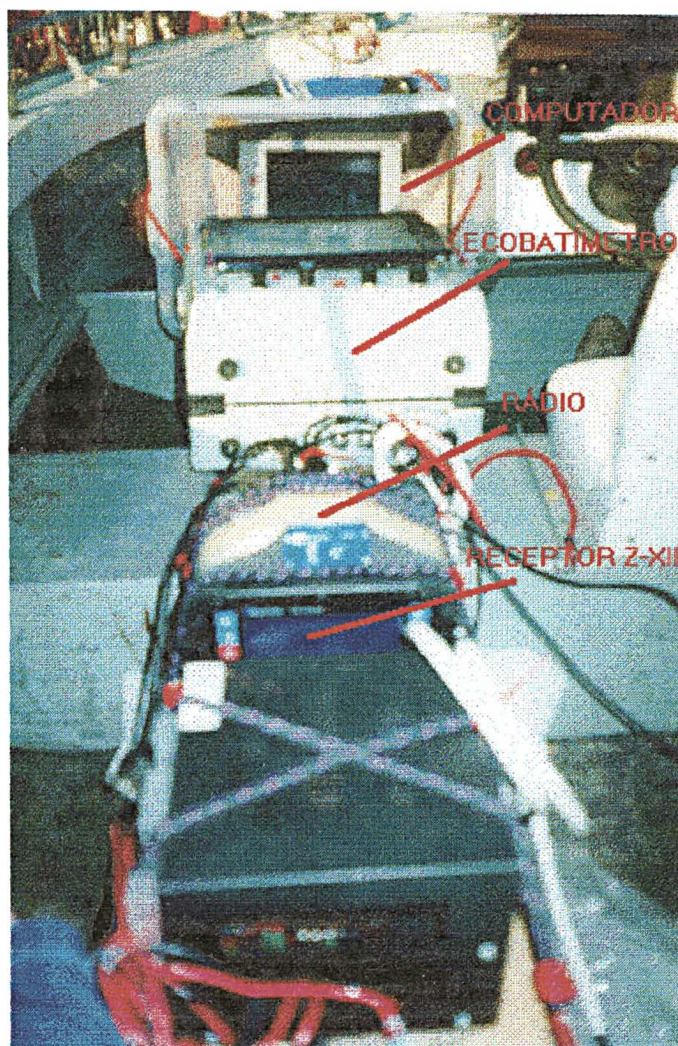


FIGURA 48 - ANTENA CINEMÁTICA E TRANSDUTOR

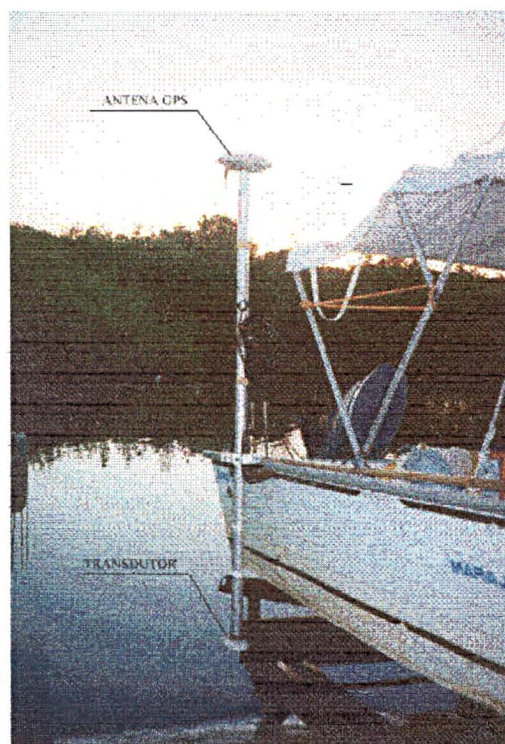
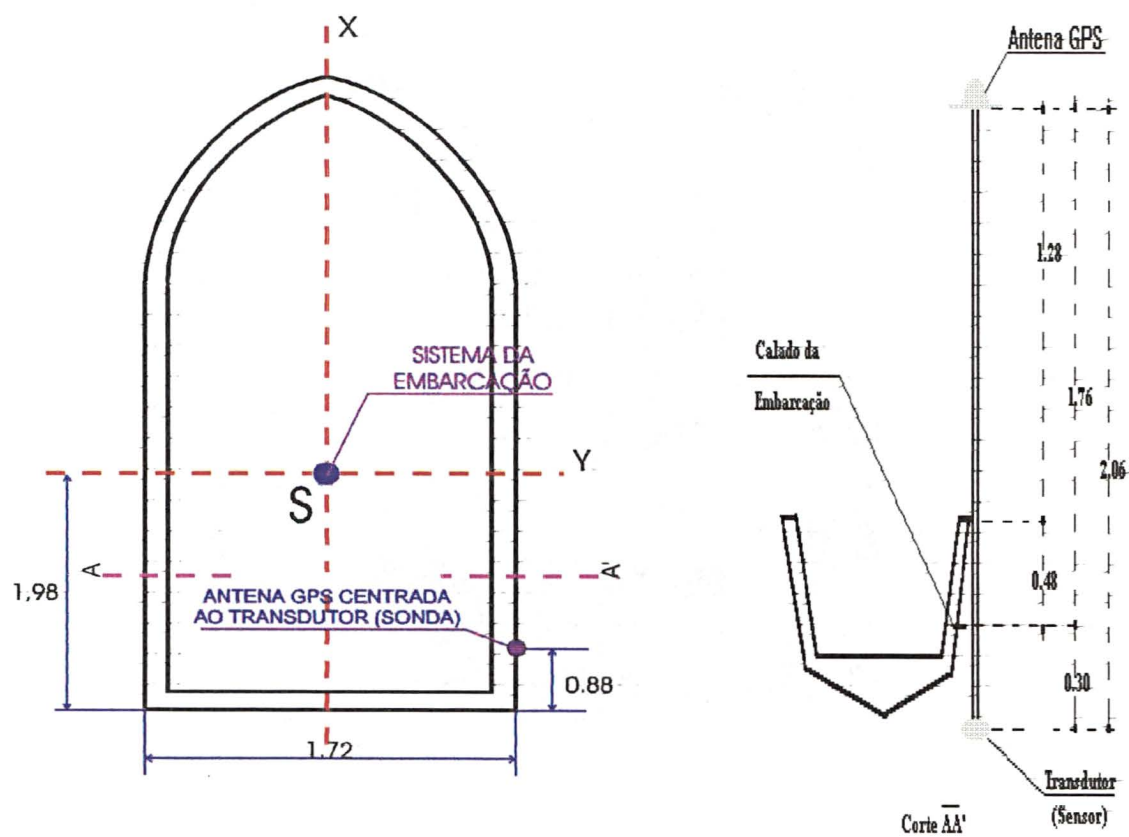


FIGURA 49 - ESQUEMA DA EMBARCAÇÃO E DA POSIÇÃO DO TRANSDUTOR



6.5.4 METODOLOGIA

Conforme descrito na seção 6.1, o posicionamento bidimensional da embarcação foi realizado com o GPS Diferencial (seção 6.5.2) e a profundidade foi obtida com a utilização do ecobatímetro, descrito em 6.5.1.

Nesses levantamentos a antena GPS foi instalada centrada em relação a sonda minimizando os erros no posicionamento devido ao ângulo de inclinação da embarcação, conforme descrito na seção 4.4.1.

Antes do início dos levantamentos foi efetuada a calibragem do ecobatímetro. Como as seções a serem realizadas localizam-se próximas a costa, optou-se pela calibragem em uma área dessa região. Mediante a introdução de uma régua graduada na água, foi possível verificar e comparar as profundidades lidas na régua com as profundidades indicadas pelo ecobatímetro.

A velocidade de propagação do som na água utilizada foi de 1.480 m/s, valor esse definido em face das análises realizadas pelo CEM quanto as características das águas (temperatura, salinidade e pressão) na região.

A embarcação apresentou uma velocidade inferior a 5 nós (2,572 m/s) durante os levantamentos dos perfis.

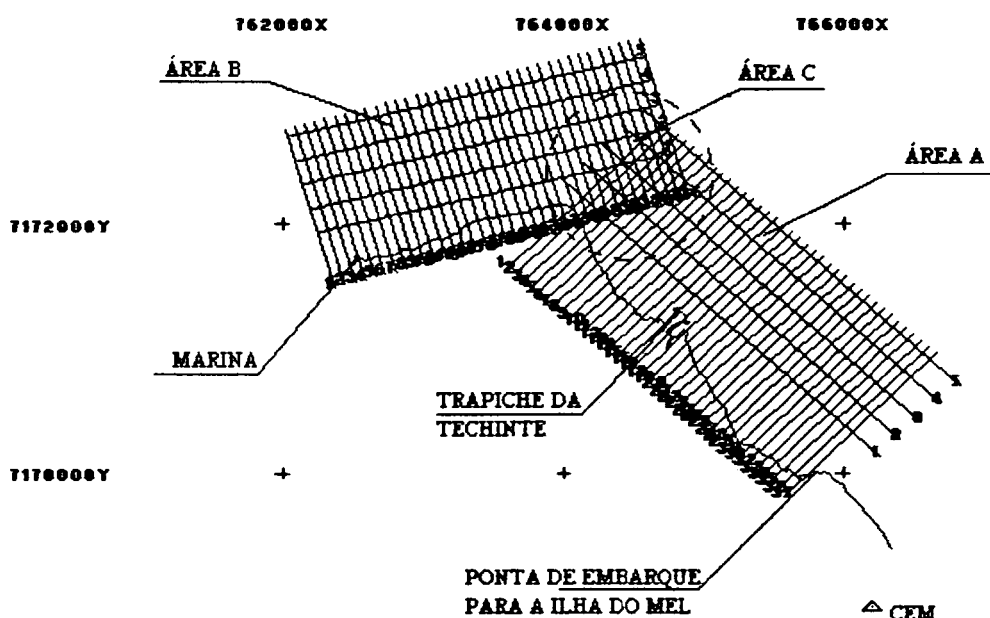
Inicialmente, com o auxílio do programa HYPACK, procedeu-se ao planejamento desses levantamentos. Optou-se pela execução de linhas paralelas de sondagem, 73 linhas num sentido aproximadamente perpendicular à costa e afastadas entre si em 75 m; e 10 linhas aproximadamente paralelas à costa e afastadas entre si em 200 m. Essas linhas podem ser observadas na figura 50.

Na figura 50, observa-se que entre os perfis longitudinais e transversais para ambas as áreas (A e B) há pontos comuns, que servirão para uma verificação da precisão obtida pelo sistema. A área C, em que há uma maior concentração de perfis, também possibilitará essa verificação.

Após o planejamento, procedeu-se à coleta dos dados. O posicionamento da estação móvel (embarcação GEO) foi obtido através das correções diferenciais das pseudodistâncias geradas na estação de referência (CEM). Utilizou-se as observações da fase do código P suavizada pela portadora L_1 (PL_1). As correções foram transmitidas continuamente através de um sistema de rádio, no formato RTCM 2.0. O computador, a bordo da embarcação, recebia simultaneamente as informações enviadas pelo receptor GPS, no formato NMEA (mensagens

GGA e VTG), e as informações enviadas pelo ecobatímetro. O armazenamento das medidas, obtidas pelo GPS (posição bidimensional) e pelo ecobatímetro (profundidade), foi realizado pelo programa HYPACK, que adotou como referência, o tempo GPS. Os levantamentos foram realizados em 3 etapas. Inicialmente, realizou-se os perfis perpendiculares a costa onde há o trapiche da Techinte (área A, figura 50), posteriormente, os perfis perpendiculares a outra parte da costa (área B, figura 50), seguiu-se com os perfis longitudinais a ambas as partes da costa.

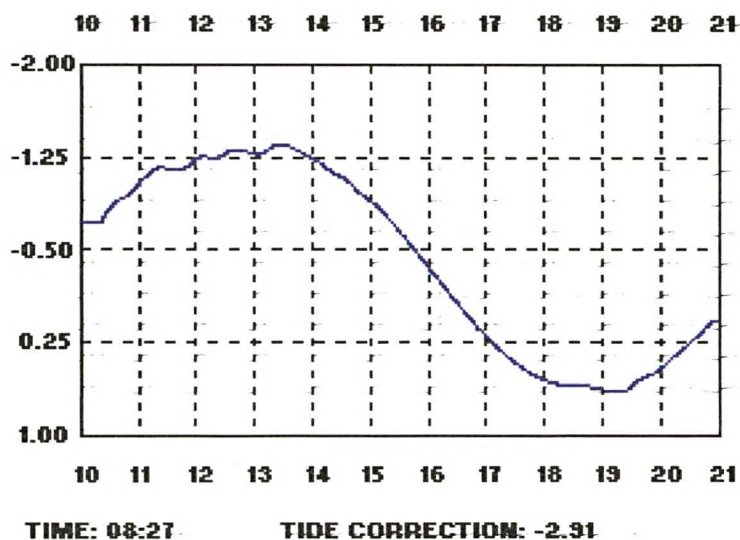
**FIGURA 50 - LINHAS DE SONDAGEM PLANEJADAS
(COORDENADAS EM UTM)**



Durante todo o levantamento dos perfis na região, foram realizadas observações de maré, possibilitando as reduções de maré para as sondagens. Essas observações, foram realizadas no Trapiche da Techinte, no qual se instalou um nível de precisão (Nikon/AZ-2S) e se realizou leituras sobre uma mira graduada posicionada às margens da água. Dessa forma, obteve-se os desníveis com relação ao ponto TECH (descrito na seção 6.3.1) e posteriormente a referência de nível (figura 37 - seção 6.2), situada sobre esse trapiche. As leituras foram efetuadas a cada 15 minutos. A precisão alcançada com esse método para a leitura de marés foi da ordem de centímetros. As observações coletadas foram digitadas no módulo TIDE, do

programa HYPACK, que calculou os arquivos de correções de maré pelo método *Spline*, originando curvas de maré (figura 51) para os períodos dos levantamentos.

FIGURA 51 - CURVA DE MARÉ PARA O PERÍODO DE 31.07.1996 das 9h 40m às 21h



6.5.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Como descrito na seção 2.8.6, o programa hidrográfico e comercial HYPACK possibilitou a entrada e a armazenagem simultânea, e em tempo real, dos dados coletados pelo GPS (*Ashtech Z-XII*) e pelo ecobatímetro. Essas informações coletadas, durante os levantamentos, foram, através do módulo *EDITING*, devidamente corrigidas dos efeitos de maré e editadas.

No arquivo de registro dos dados coletados, verifica-se que não há o perfeito sincronismo entre as observações de ambos os sistemas (GPS/Ecobatímetro). O GPS fornece a posição da embarcação a cada 1 s e observa-se que a cada 0,33 s há uma atualização das profundidades medidas pelo ecobatímetro. O primeiro desses valores, é obtido em média 0,10 s após a determinação da posição com o DGPS. Verifica-se, que o programa HYPACK admite como tempo de referência, o tempo GPS e que na elaboração do seu produto final aplica interpolações aos valores das profundidades levantadas e das coordenadas em UTM.

Na figura 52, observam-se as linhas de sondagem executadas na região, e as cores dão uma noção do relevo submarino. Na figura 53, observa-se o afastamento da linha executada pelo barqueiro em relação a linha planejada, assim como o perfil do fundo do mar.

FIGURA 52-LINHAS DE SONDAGEM EXECUTADAS NA REGIÃO
(Coordenadas em UTM)

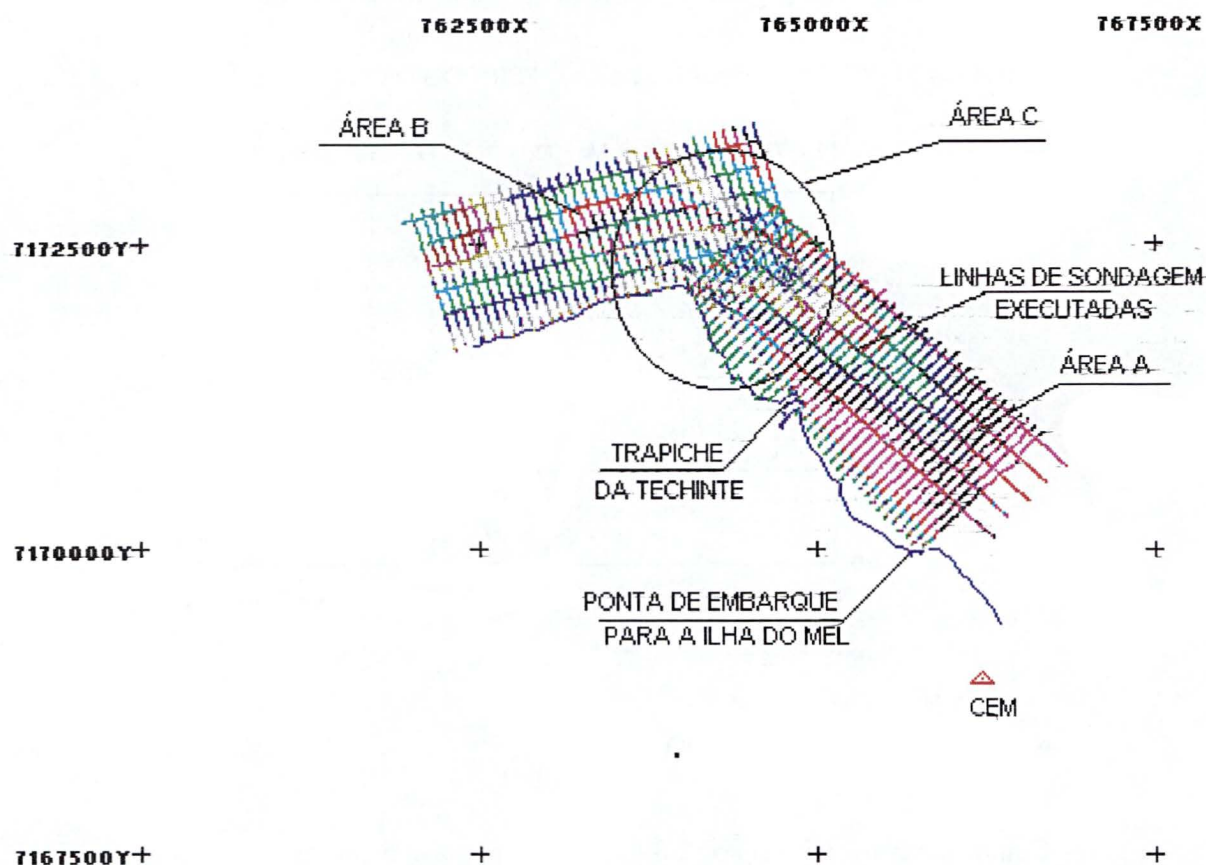
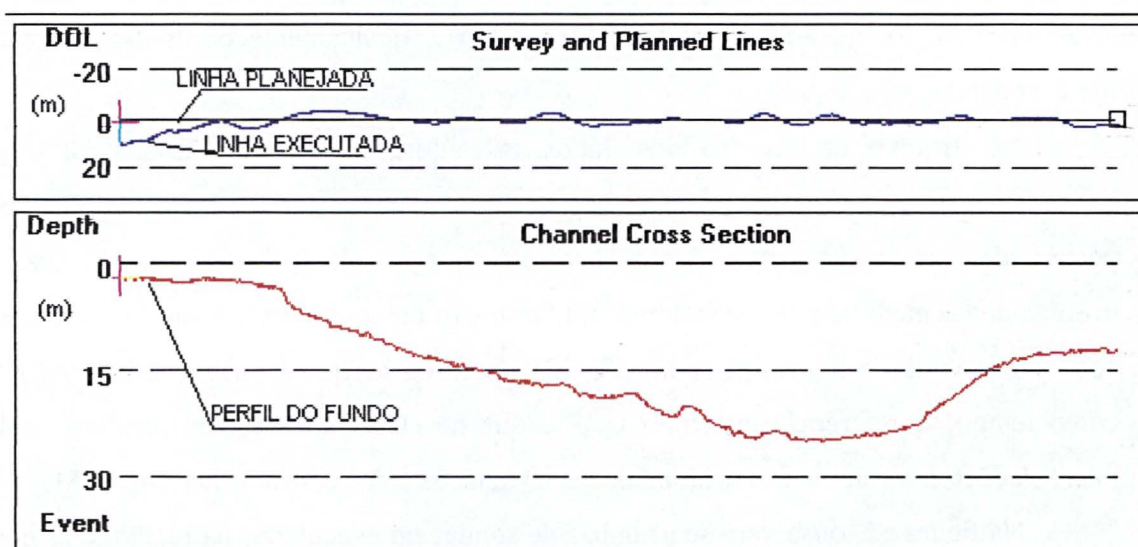


FIGURA 53 - LINHA NAVEGADA E PERFIL CORRESPONDENTE

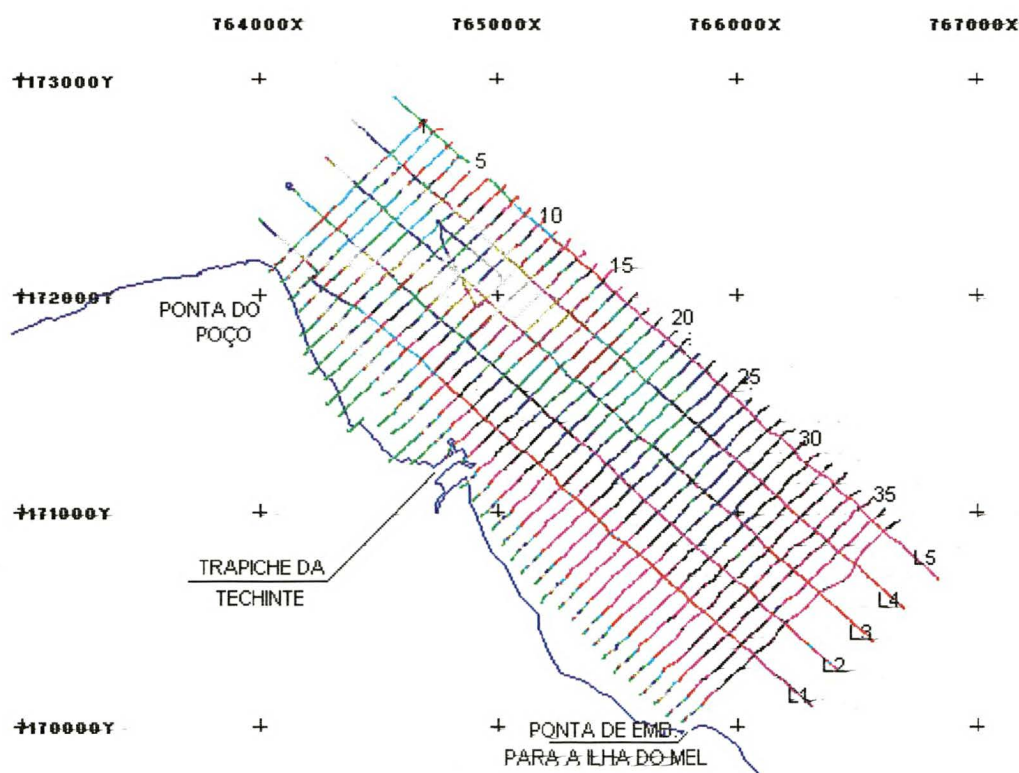


6.5.5.1 PROCESSAMENTO DOS DADOS DA ÁREA A

A área A levantada, consiste na área compreendida entre a ponta de embarque para a Ilha do Mel à Ponta do Poço, conforme descrito na seção 6.5.4. Nessa área, foram realizados perfis longitudinais e transversais à linha de costa, visando um cobertura total da área e a análise da precisão alcançada com o sistema GPS/Ecobatímetro.

Na figura 54, tem-se uma visão geral da área em estudo e observa-se os perfis realizados. A análise da precisão, é realizada em alguns pontos de interseção das linhas longitudinais com as linhas transversais. Optou-se pela análise das linhas transversais (1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35).

FIGURA 54-LINHAS DE SONDAGEM EXECUTADAS NA ÁREA A
(Coordenadas em UTM)



A partir dos arquivos armazenados pelo programa HYPACK, procedeu-se a edição desses dados, com as suas respectivas correções de marés. Desses arquivos, foram extraídas as profundidades para os pontos de interseção (p.ex.: L₁ 1, L₁ 5, L₁ 10,..., L₄ 1, L₄ 5,..., L₅ 30, L₅ 35). Conforme citado na seção 6.5.4 e 6.5.5, as profundidades e as posições foram

interpoladas pelo próprio programa. Na tabela 30, podem ser observadas as diferenças calculadas para as profundidades obtidas nesses pontos de interseção.

TABELA 36 - DIFERENÇAS CALCULADAS PARA OS PONTOS DE INTERSEÇÃO NA ÁREA A.

<i>PERFIS TRANSVERSAIS</i>	<i>PERFIS LONGITUDINAIS DIFERENÇAS (m)</i>				
	L1	L2	L3	L4	L5
1	-0,14	-0,17	-0,05	-0,53	-0,21
5	-0,16	-0,42	-0,04	-0,63	-0,08
10	-0,08	-0,32	-0,05	-0,06	0,08
15	-0,20	-0,11	0,03	-0,29	0,05
20	0,83	0,14	0,87	0,87	0,92
25	0,49	1,05	0,94	1,17	1,87
30	0,19	0,64	0,60	0,53	0,86
35	-0,02	-0,12	-0,07	-1,49	-0,97

Com as diferenças calculadas para alguns pontos de interseção dos perfis longitudinais e transversais (tabela 36), verifica-se que para esse grupo amostral, em 27,5 %, elas são inferiores a 10 cm; em 25 % estão compreendidas entre 10 e 30 cm; em 7,5 % entre 30 e 50 cm; em 22,5 % entre 50 e 90 cm e em 17,5 % são superiores a 90 cm.

Constata-se, que as maiores diferenças se apresentam para a região próxima ao Canal da Galheta. Essa área, apresenta maiores perturbações em função do fluxo de navios do mar alto para o Porto de Paranaguá. Tais perturbações não puderam ser monitoradas e corrigidas pela falta de um inclinômetro a bordo da embarcação.

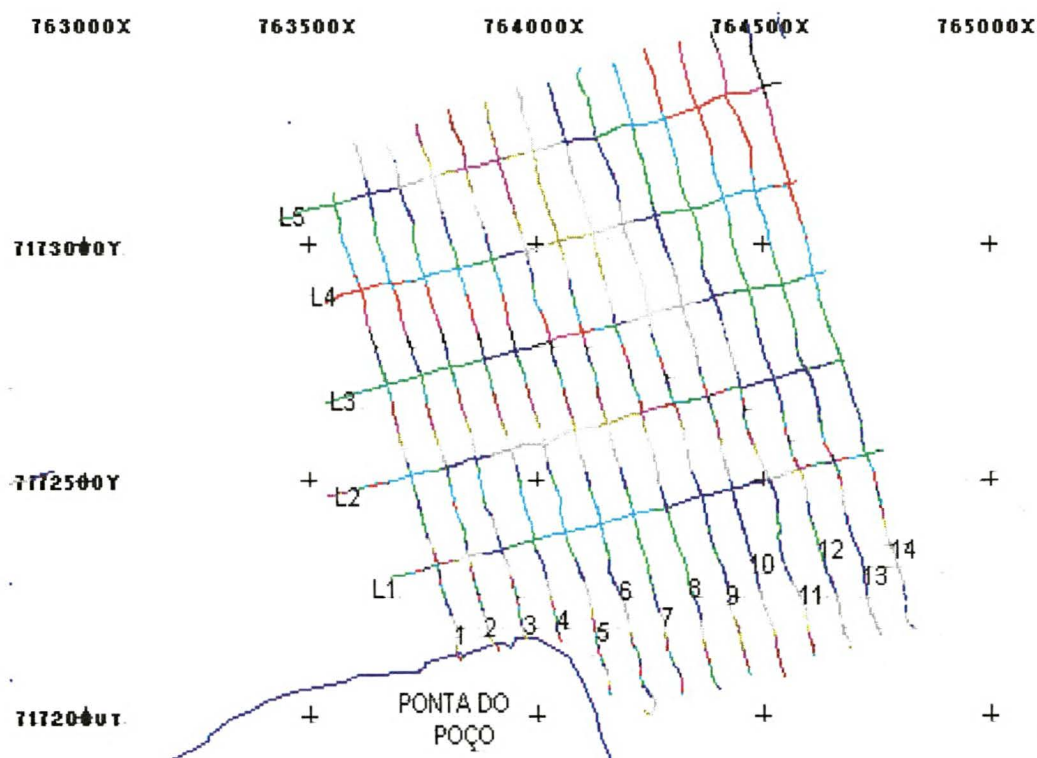
6.5.5.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS DA ÁREA B

A área B levantada, consiste na área compreendida entre a Ponta do Poço à Marina, conforme descrito na seção 6.5.4. Nessa área foram realizados perfis longitudinais e transversais à linha de costa, visando um cobertura total da área e a análise da precisão alcançada com o sistema GPS/Ecobatímetro.

Na figura 55, tem-se uma visão geral da área em estudo e podem ser observados os perfis realizados na parte B com as suas interseções.

Os dados levantados nesses perfis foram tratados com o auxílio do programa HYPACK. Desses arquivos, foram extraídas as profundidades para os pontos de interseção. Conforme citado na seção 6.5.4 e 6.5.5, as profundidades e as posições foram interpoladas pelo próprio programa. Na tabela 37, observam-se as diferenças calculadas para todos os pontos de interseção dos perfis longitudinais e dos transversais levantados e indicados na figura 55.

FIGURA 52-LINHAS DE SONDAGEM EXECUTADAS NA ÁREA B-
(Coordenadas em UTM)



A análise das diferenças obtidas na tabela 37, indica que em 31,4 % dos casos elas foram inferiores a 10 cm; em 35,7 % encontram-se entre 10 cm e 30 cm; em 24,3 % entre 30 cm e 50 cm e nos 8,6 % restantes estas diferenças encontram-se entre 50 cm e 90 cm.

Nessa parte B, observa-se que não há diferenças maiores que 90 cm como ocorre para a parte A. A área B não apresenta tantas turbulências quanto a área A.

Na figura 56, os perfis indicados apresentam, praticamente, a mesma coloração. A princípio, tal fato, já fornece uma idéia da qualidade dos dados levantados.

TABELA 37 - DIFERENÇAS CALCULADAS PARA OS PONTOS DE INTERSEÇÃO NA ÁREA B.

PERFIS TRANSVERSAIS	PERFIS LONGITUDINAIS DIFERENÇAS (m)				
	L1	L2	L3	L4	L5
1	-0,43	-0,17	-0,03	0,07	-0,07
2	-0,62	-0,50	-0,47	-0,33	-0,22
3	-0,64	-0,18	-0,33	-0,40	-0,32
4	-0,51	-0,40	-0,20	-0,27	-0,19
5	-0,53	-0,22	-0,02	-0,19	0,01
6	-0,20	-0,45	-0,27	-0,30	-0,29
7	-0,15	-0,15	-0,09	-0,16	-0,03
8	-0,44	-0,44	-0,06	0,12	-0,28
9	0,01	0,28	0,06	0,09	0,11
10	-0,07	-0,57	0,21	0,07	0,05
11	0,14	-0,10	-0,06	0,01	-0,10
12	0,42	0,12	0,35	0,31	0,00
13	0,43	0,22	0,11	0,40	-0,09
14	0,10	0,29	0,55	0,41	-0,06

6.5.5.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS DA ÁREA C

A área C, indicada na figura 52, é a região onde há a maior incidência de linhas levantadas (perfis transversais e longitudinais). Nessa área, foi realizado o estudo de dois a dois desses conjunto de perfis. Inicialmente, será analisado os perfis transversais da parte A com os perfis longitudinais da parte B. O segundo estudo compreende os perfis transversais das partes A e B; o terceiro estudo, os perfis longitudinais da parte A e B; e o quarto estudo, os perfis transversais da parte B e os longitudinais da parte A.

a) Primeiro estudo da área C:

A figura 56 apresenta os perfis envolvidos nesse estudo. Verifica-se a existência de 7 pontos de interseção entre as linhas levantadas. Na tabela 38, estão indicadas as profundidades levantadas e as diferenças calculadas para as linhas indicadas (figura 56).

FIGURA 56-LINHAS DE SONDAGEM ANALISADAS NO PRIMEIRO ESTUDO DA ÁREA C
(Coordenadas em UTM)

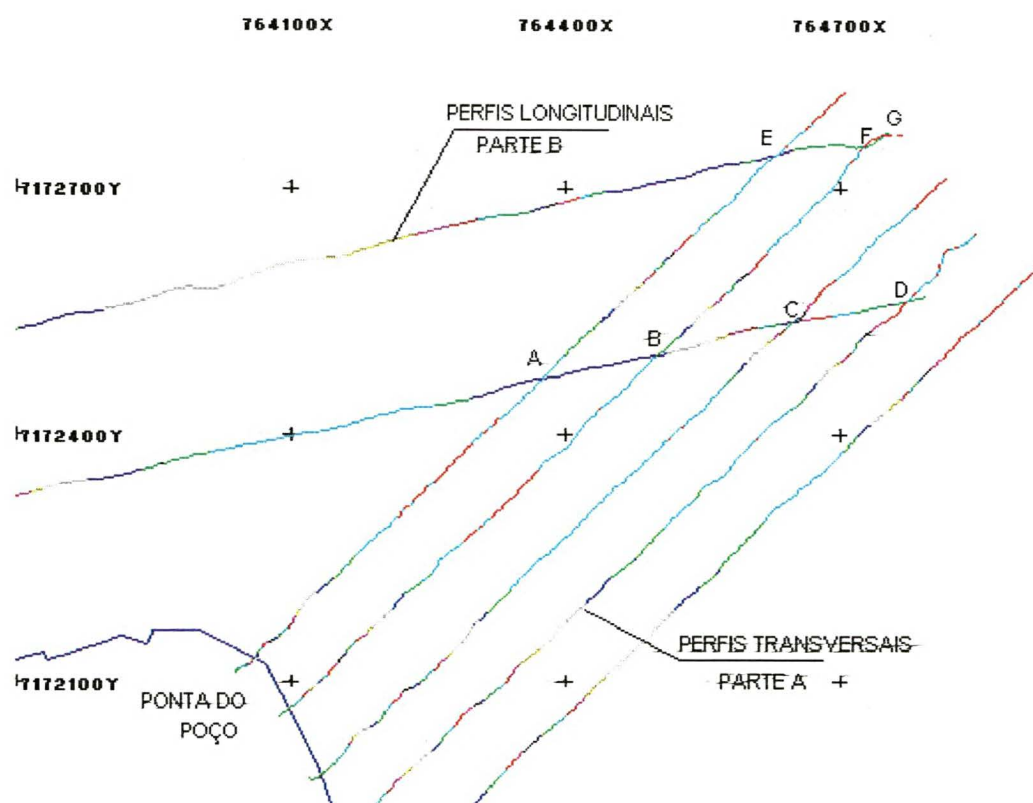


TABELA 38 - DIFERENÇAS CALCULADAS PARA OS PONTOS DE INTERSEÇÃO NA ÁREA C - PRIMEIRO ESTUDO

PONTOS	PROFUNDIDADE LINHAS PARTE A (m)	PROFUNDIDADE LINHAS PARTE B (m)	DIFERENÇAS (m)
A	23,72	23,69	0,03
B	23,25	23,26	-0,01
C	15,26	15,07	0,19
D	10,42	10,29	0,13
E	10,07	10,06	0,01
F	10,67	10,68	-0,01
G	10,87	10,87	0,00

Das diferenças obtidas (tabela 38) para os 7 pontos de interseção (figura 56), verifica-se que em 71,5 % ,elas são inferiores a 5 cm e que para 28,5 % ,elas estão compreendidas entre 5 e 20 cm.

b) Segundo estudo da área C:

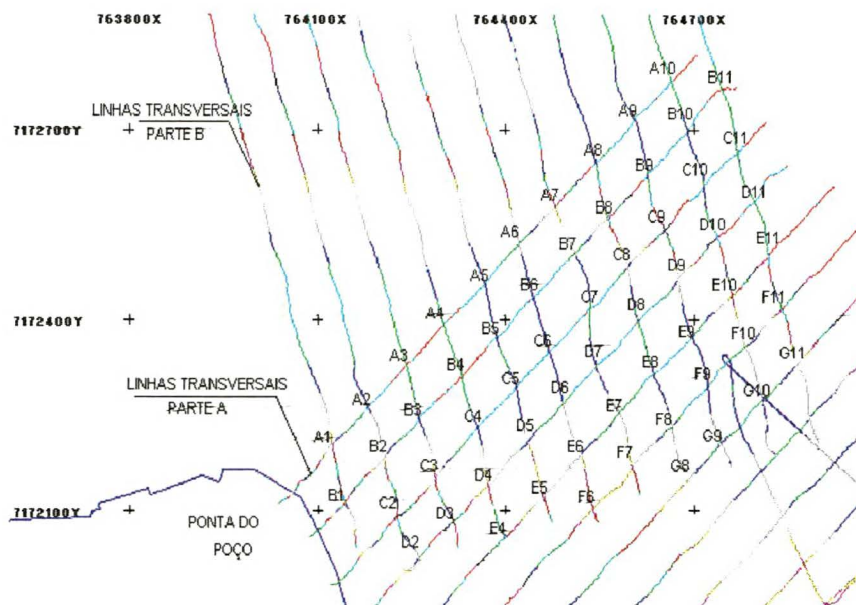
Observa-se na figura 57 os perfis envolvidos nesse estudo. Verifica-se a existência de vários pontos de interseção entre as linhas levantadas. Na tabela 39, estão indicadas as profundidades e as diferenças calculadas para alguns pontos dessas linhas.

**TABELA 39 - DIFERENÇAS CALCULADAS PARA OS PONTOS DE INTERSEÇÃO NA ÁREA C
SEGUNDO ESTUDO**

<i>PONTOS</i>	<i>PROFUNDIDADE LINHAS PARTE A (m)</i>	<i>PROFUNDIDADE LINHAS PARTE B (m)</i>	<i>DIFERENÇAS (m)</i>
A1	20,74	20,58	0,16
A2	23,53	23,59	-0,06
A3	24,59	24,63	-0,04
B1	11,38	11,59	-0,21
B4	24,58	24,43	0,15
B5	24,22	24,06	0,16
B6	24,00	23,80	0,20
B10	10,13	9,76	0,37
C3	20,52	20,62	-0,10
C5	23,63	23,56	0,07
C8	22,24	22,28	-0,04
C11	10,31	10,33	-0,02
D5	21,83	21,74	0,09
D7	23,33	23,19	0,14
D9	21,25	20,74	0,51
D10	10,15	11,91	-0,26
E5	22,38	21,96	0,42
E7	19,88	19,56	0,32
E9	23,42	23,45	-0,03
F6	19,21	19,30	-0,09

A análise das diferenças obtidas para os pontos de interseção indicados na tabela 39, mostra que em 40 % dos casos, elas foram inferiores a 10 cm; em 40 % encontram-se entre 10 e 30 cm e em 20% são inferiores a 45 cm.

FIGURA 57-LINHAS DE SONDAGEM ANALISADAS NO SEGUNDO ESTUDO DA ÁREA C
(Coordenadas em UTM)



c) Terceiro estudo da área C:

Os perfis envolvidos nesse estudo estão representados na figura 58. Verifica-se a existência de 6 pontos na interseção entre as linhas levantadas. Na tabela 40, estão indicadas profundidades obtidas e as diferenças calculadas para esses pontos.

FIGURA 58-LINHAS DE SONDAGEM ANALISADAS NO TERCEIRO ESTUDO DA ÁREA C
(Coordenadas em UTM)

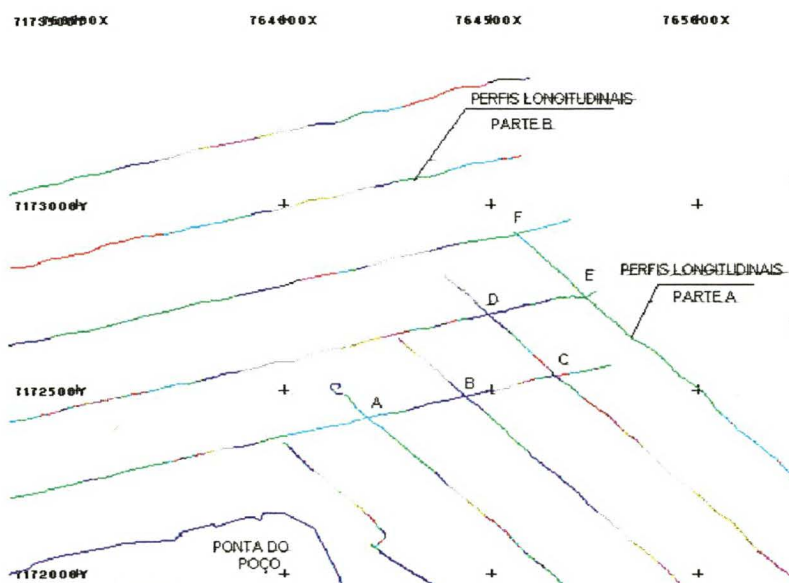


TABELA 40 - DIFERENÇAS CALCULADAS PARA OS PONTOS DE INTERSEÇÃO NA ÁREA C - TERCEIRO ESTUDO

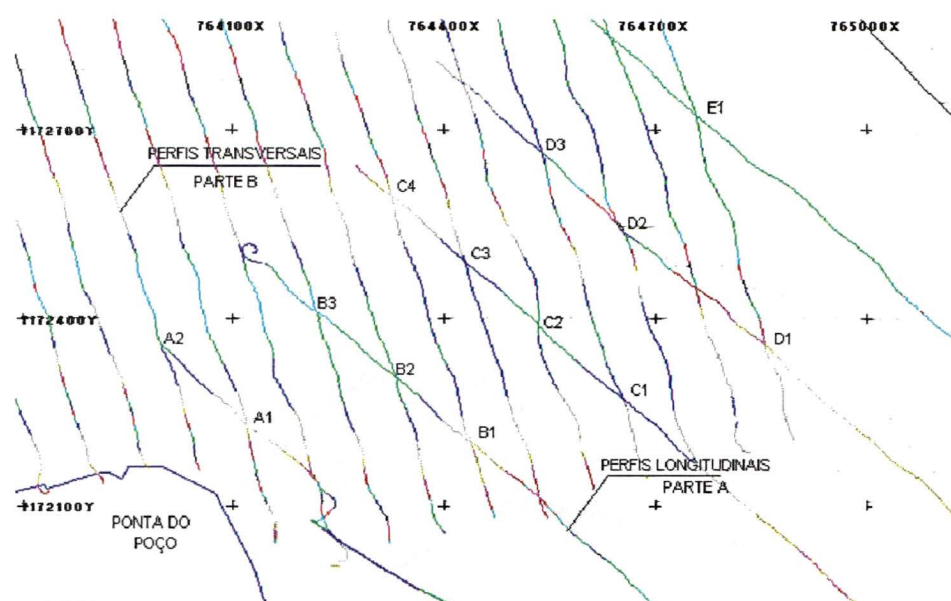
PONTOS	PROFUNDIDADE LINHA PARTE A (m)	PROFUNDIDADE LINHA PARTE B (m)	DIFERENÇAS (m)
A	25,47	25,61	-0,14
B	23,42	23,77	-0,35
C	14,92	14,67	0,25
D	9,10	9,17	-0,07
E	10,18	10,62	-0,44
F	10,51	10,97	-0,48

As diferenças obtidas, entre os pontos de interseção dos perfis longitudinais das partes A e B foram em 50 % inferiores a 30 cm e nos restantes 50 % encontram-se compreendidas entre 30 e 50 cm.

d) Quarto estudo da área C:

Na figura 59, estão indicados os perfis envolvidos nesse estudo. Verifica-se a existência de alguns pontos de interseção entre os perfis longitudinais da parte A e os perfis transversais da parte B. Na tabela 41, estão indicadas as profundidades obtidas e as diferenças calculadas para esses pontos de interseção.

FIGURA 59-LINHAS DE SONDAAGEM ANALISADAS NO QUARTO ESTUDO DA ÁREA C - (Coordenadas em UTM)



**TABELA 41 - DIFERENÇAS CALCULADAS PARA OS PONTOS DE INTERSEÇÃO NA ÁREA C
QUARTO ESTUDO**

<i>PONTOS</i>	<i>PROFUNDIDADE LINHA PARTE A (m)</i>	<i>PROFUNDIDADE LINHA PARTE B (m)</i>	<i>DIFERENÇAS (m)</i>
A1	21,77	21,55	0,22
A2	24,42	24,35	0,07
B1	21,54	21,29	0,25
B2	24,42	24,15	0,27
B3	25,18	25,15	0,03
C1	23,11	23,06	0,05
C2	24,12	24,09	0,03
C3	23,47	23,40	0,07
C4	21,10	21,21	-0,11
D1	19,79	20,13	-0,34
D2	14,89	14,56	0,33
D3	9,80	9,53	0,27
D4	8,91	8,86	0,05
E1	10,17	10,28	-0,11

Para esses pontos (tabela 41), as diferenças obtidas foram em 42,9 % inferiores a 10 cm, em 42,9 % estão compreendidas entre 10 e 30 cm e os restantes 14,2 % encontram-se entre 30 e 35 cm.

6.5.6 ANÁLISE DOS DADOS

O sistema de comunicação no presente trabalho teve excelente desempenho, visto que se observou a recepção das correções enviadas pela estação de referência à móvel durante todo o levantamento. Pode-se também afirmar que a estação de referência para esse caso foi bem escolhida.

A taxa de transferência dos dados foi de 1 s, visando uma atualização constante dos dados, garantindo um grau de precisão desejável no posicionamento horizontal. Nesse caso, a precisão no posicionamento horizontal foi inferior a 5 m (DGPS com a fase do código alisado pela portadora).

Do exposto anteriormente (seção 6.5.5), conclui-se que nos levantamentos desenvolvidos nas áreas A, B e C (figura 53) houve a influência de certos fatores na precisão

da medida da profundidade como p.ex.: os movimentos da embarcação, sincronismo, deslocamento vertical da embarcação.

Em virtude da falta de equipamentos convenientes, os dados coletados não foram corrigidos de efeitos como os movimentos da embarcação (rolamento, arfagem e guinada) e do deslocamento vertical da embarcação, descritos na seção 4.

Do exposto na seção 4.4.1, para uma antena instalada a uma altura de 2,06 m (antena a bordo da embarcação do CEM) e com a embarcação navegando a uma velocidade média de 2,6 m/s, verifica-se pela figura 27, que para um ângulo de inclinação da embarcação entre 0° e 10° é possível de se obter um erro na medida da profundidade inferior a 6 cm. Consta-se que uma embarcação pode sofrer um erro da ordem de 5 cm devido ao seu deslocamento vertical. Dessa forma, sem um monitoramento desses efeitos nos levantamentos efetuados pode-se chegar a um erro da ordem de 11 cm.

Comenta-se na seção 6.5.5, que para os equipamentos utilizados (GPS/ECobatímetro) não houve um perfeito sincronismo, eles apresentaram um atraso de 0,1 s. Pela figura 30, verifica-se que o erro de posicionamento tridimensional causado pela falta de sincronização entre os sistemas, em função de uma velocidade da embarcação igual a 2,6 m/s, poderá ocasionar um erro de 40 cm. Nesses levantamentos, procedeu-se a uma interpolação dos valores em pós-processamento, visto que tais valores foram determinados com base no tempo GPS. Porém, não resulta de um sincronismo direto. Logo, para levantamentos em tempo real, com esse sistema (GPS/ECobatímetro) conta-se com essa falta do perfeito sincronismo podendo-se obter o erro descrito anteriormente.

Pelas especificações exigidas pela *International Hydrographic Organisation-IHO* (1989), citadas na seção 4.4, para profundidades de até 30 m o erro máximo permitido é de 30 cm. Pelas análises efetuadas na seção 6.5.5, constata-se que as diferenças entre as profundidades levantadas foram inferiores aos 30 cm para: 52,5 % na parte A; 60 % na parte B; 100% na parte C - 1º estudo; 80 % na parte C - 2º estudo; 50 % na parte C - 3º estudo; e 85,8 % na parte C - 4º estudo. As demais diferenças foram superiores as exigidas pela IHO. Acredita-se que com a instalação de sensores para o controle de atitude da embarcação, bem como, um melhor sincronismo entre os sistemas essas diferenças serão minimizadas.

Verificou-se que o ecobatímetro (DIGITRACE) realiza leituras de profundidades de 10 em 10 cm, em tempo real. Pode-se obter, na edição dos dados, valores intermediários através da interpolação.

6.6 CAPACIDADE DE SOLUÇÃO PDGPS

Como já se citou anteriormente, esse trabalho foi desenvolvido na área do Balneário de Pontal do Sul. Para algumas linhas de sondagem planejadas se verificou a capacidade de solução PDGPS, utilizando diferentes estações de referências.

6.6.1 ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA

Nessas investigações, foram utilizados os dados coletados em duas estações de referência distintas, sendo uma situada em Curitiba e outra, em Paranaguá.

A estação de referência (ECC3) situada em Curitiba encontra-se descrita na seção 5.3.1. Ela dista aproximadamente 90 km da estação móvel e apresenta uma diferença de altitude de aproximadamente 910 m em relação a essa.

A estação de referência (PGUA) situada em Paranaguá foi instalada no telhado do edifício da sede da COPEL dessa cidade. É um marco da rede GPS, a qual está sendo desenvolvida por essa instituição e cujas coordenadas, fornecidas por ela, se encontram na tabela 42. A estação PGUA encontra-se a aproximadamente 17 km da estação móvel.

TABELA 42 - COORDENADAS DO MARCO PGUA (WGS84)
(Fornecidas pela COPEL)

<i>ESTAÇÃO</i>	<i>LATITUDE</i>	<i>LONGITUDE</i>	<i>ALTITUDE (m)</i>
PGUA	-25° 31' 25,3445"	-48° 30' 41,4712"	18,297

6.6.1.1 OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DA ESTAÇÃO PGUA

Apesar das coordenadas da estação de referência PGUA serem conhecidas, optou-se pelo processamento da linha de base LB1. Ela, se constitui das estações ECC3 (Curitiba) e PGUA (Paranaguá), já descritas na seção 6.6.1, e distantes entre si em cerca de 73 km. Estas estações apresentam uma diferença de altitude da ordem de 900 m.

Com esse processamento, busca-se verificar a qualidade das coordenadas de PGUA e a influência que essas coordenadas sofrem com a introdução do fator de escala troposférico e dos dados troposféricos atuais.

O rastreamento teve uma duração de 45 minutos, com uma taxa de coleta de dados de 1 s. Foram empregados 2 receptores geodésicos *Ashtech Z-XII* (seção 2.7) com suas respectivas antenas.

Os dados coletados foram pós-processados utilizando-se o programa científico GEONAP (seção 2.8.1); para a resolução das ambigüidades empregou-se a opção +X; foram empregadas as efemérides transmitidas e as precisas; verificou-se a viabilidade em se aplicar o fator de escala troposférico e de se introduzir os parâmetros troposféricos atuais.

Os parâmetros troposféricos atuais foram obtidos junto a Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento e ao Ministério da Agricultura (8º Distrito de Meteorologia). Na tabela 43, estão indicadas a temperatura seca, temperatura úmida e pressão em dois horários distintos (15 e 21 horas), para as estações de Curitiba e Paranaguá na data do levantamento.

TABELA 43 - PARÂMETROS TROPOSFÉRICOS ATUAIS PARA 26.08.96

ESTAÇÃO	HORÁRIOS	TEMPERATURA SECA (°C)	TEMPERATURA ÚMIDA (°C)	PRESSÃO (mbar)
CURITIBA	15 h 00 m	18,6	27,8	909,0
	21 h 00 m	17,2	22,3	911,4
PARANAGUÁ	15 h 00 m	33,8	19,8	1007,0
	21 h 00 m	29,8	19,0	1012,3

Na tabela 44, observam-se os diferentes processamentos realizados e na tabela 45 as coordenadas obtidas para essa estação, com eles. A solução final apresentada é a gerada pela portadora fundamental (L_0).

TABELA 44 - PROCESSAMENTOS REALIZADOS PARA A OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DE PGUA (LB1)

<i>PROCESSAMENTO LB1</i>	<i>EFEMÉRIDES TRANSMITIDAS</i>	<i>EFEMÉRIDES PRECISAS</i>	<i>FATOR DE ESCALA TROPOSFÉRICO</i>	<i>PARÂMETROS TROPOS- FÉRICOS ATUAIS</i>
A	S	N	N	N
B	N	S	N	N
C	N	S	S	N
D	N	S	S	S
E	N	S	N	S

TABELA 45- COORDENADAS DE PGUA (LB1)

<i>PROCESSAMENTO LB1</i>	<i>LATITUDE</i>	<i>LONGITUDE</i>	<i>ALTITUDE</i>
A	25° 31 ' 25,34488 " S	48° 30 ' 41,47913 " W	18,035 m
B	25° 31 ' 25,34634 " S	48° 30 ' 41,47026 " W	18,069 m
C	25° 31 ' 25,34884 " S	48° 30 ' 41,45570 " W	18,721 m
D	25° 31 ' 25,35258 " S	48° 30 ' 41,43324 " W	19,458 m
E	25° 31 ' 25,34101 " S	48° 30 ' 41,44845 " W	18,013 m

Na tabela 46, são indicadas as diferenças calculadas para as coordenadas obtidas (linha de base LB1) com relação as coordenadas fornecidas pela COPEL.

TABELA 46 - DIFERENÇAS ENTRE AS SOLUÇÕES OBTIDAS NOS PROCESSAMENTOS (LB1)

<i>DIFERENÇAS PROCESSAMENTO LB1</i>	<i>Δ LATITUDE (cm)</i>	<i>Δ LONGITUDE (cm)</i>	<i>Δ ALTITUDE (cm)</i>
A	-1,295	-24,482	26,2
B	-5,797	2,8675	22,8
C	-13,505	47,761	-42,4
D	-25,037	117,013	-116,1
E	10,638	70,115	28,4

Verifica-se, pela tabela 46; que as diferenças obtidas são da ordem de alguns centímetros. Entre os processamentos B, C, D e E, constata-se que B é quem apresenta as menores diferenças entre as coordenadas por ele obtida e as coordenadas conhecidas de

PGUA. Com a introdução dos parâmetros troposféricos atuais (processamentos D e E) há uma significativa elevação das diferenças, principalmente quando eles estão associados ao fator de escala troposférico. Esse fator (t), atua diretamente nas altitudes, fato esse comprovado ao se analisar os processamentos B (sem t) e C (com t). Para C, essa diferença (em h) se eleva do dobro da diferença de B e quando da introdução dos parâmetros atuais (processamento E), ela é aproximadamente quintúpla em relação a diferença de B. Com a modificação dos parâmetros ao longo dos processamentos, nota-se que as longitudes apresentam maiores diferenças que as latitudes.

Também, se pode constatar que a aplicação das efemérides precisas no presente levantamento é viável, visto que as diferenças entre os processamentos B e A foram em latitude da ordem de 5 cm, em longitude de 27 cm e em altitude de 3 cm. Logo, minimizar-se-á os erros referentes à órbita no posicionamento da embarcação.

Para uma análise mais completa, indica-se na tabela 47 os desvios padrão obtidos na solução da linha de base LB1, para os diferentes processamentos.

TABELA 47 - DESVIOS PADRÃO OBTIDOS NOS PROCESSAMENTOS (LB1)

<i>PROCESSAMENTO LB1</i>	<i>S_x (cm)</i>	<i>S_y (cm)</i>	<i>S_z (cm)</i>	<i>S_D (cm)</i>
A	0,18	0,16	0,08	0,05
B	0,12	0,17	0,08	0,05
C	1,53	1,30	1,40	0,41
D	0,73	0,79	0,50	0,14
E	0,18	0,24	0,12	0,07

Dos dados indicados na tabela 47, se pode observar que os menores desvios padrão para as coordenadas relativas e para as distâncias entre os pontos, ocorrem para o processamento B da LB1. Ele consiste no processamento da linha de base utilizando as efemérides precisas e sem a presença do fator de escala troposférico e dos parâmetros troposféricos atuais. Nos processamentos C, D e E observa-se uma elevação dos valores dos desvios padrão, principalmente para C onde foi introduzido o fator de escala troposférico (t). Sabe-se que, quando da introdução de t há um enfraquecimento da solução, e que ele, atua principalmente nas altitudes. Com a utilização dos parâmetros troposféricos atuais,

associados ao fator de escala troposférico (t), houve uma redução com relação ao processamento C nos desvios padrão, mostrando que essa combinação é viável para o processamento desses dados.

As coordenadas consideradas mais adequadas para o PGUA, no processamento da linha de base LB1, encontram-se na tabela 48 e estão indicadas no sistema da UFPR.

TABELA 48 - COORDENADAS DE PGUA NO SISTEMA DA UFPR

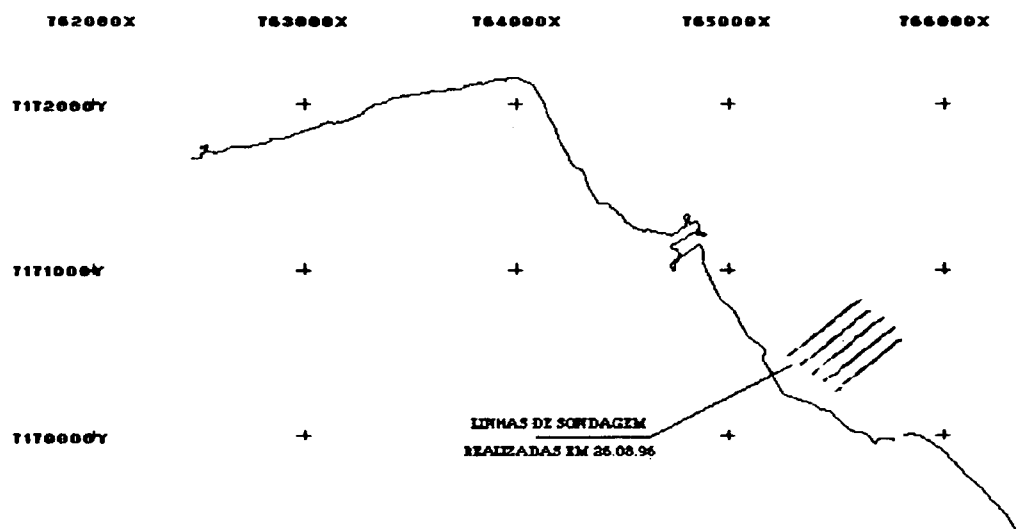
<i>ESTAÇÃO</i>	<i>LATITUDE</i>	<i>LONGITUDE</i>	<i>ALTITUDE</i>
PGUA	25° 31 ' 25,3463 " S	48° 30 ' 41,4703 " W	18,069 m

Porém, para o processamento da solução PDGPS opta-se pelas coordenadas citadas na tabela 42, em face dessas serem provenientes de uma ajustamento e não apenas do processamento de uma linha de base.

6.6.2 METODOLOGIA

Foram utilizados os dados coletados no dia 26.08.1996 pela estação móvel GEO, descrita na seção 5.3.3, operando com uma taxa de coleta de dados igual a 1s. Nesse período, operavam 3 estações de referência: ECC3, PGUA e CEM; foi possível trabalhar somente no pós-processamento dos dados das estações ECC3 e PGUA. A estação CEM, impossibilitada de contar com um computador para a descarga dos dados em tempo real, apresentou os dados armazenados no receptor, num período diferente das demais estações. Logo, teve que ser desconsiderada no pós-processamento desses dados. Ela, operou na transmissão das correções das pseudodistâncias à embarcação.

Observa-se, na figura 60, a área e as linhas de sondagem realizadas pela embarcação.

FIGURA 60 - PERFIS REALIZADOS EM 26.08.96 PELA EMBARCAÇÃO

6.6.3 PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Os dados coletados, conforme descritos na seção 6.6.2, foram processados com a utilização do programa GEONAP-K (seção 2.8.1) e PRISM (seção 2.8.3). Realizou-se, o pós-processamento para os dados cinemáticos (trajetória descrita pela embarcação GEO: BC e BL). Na tabela 49, tem-se a trajetória descrita pela embarcação para as estações de referência (PGUA e ECC3).

TABELA 49 - TRAJETÓRIAS DESCRITAS PELA EMBARCAÇÃO GEO (DADOS CINEMÁTICOS)

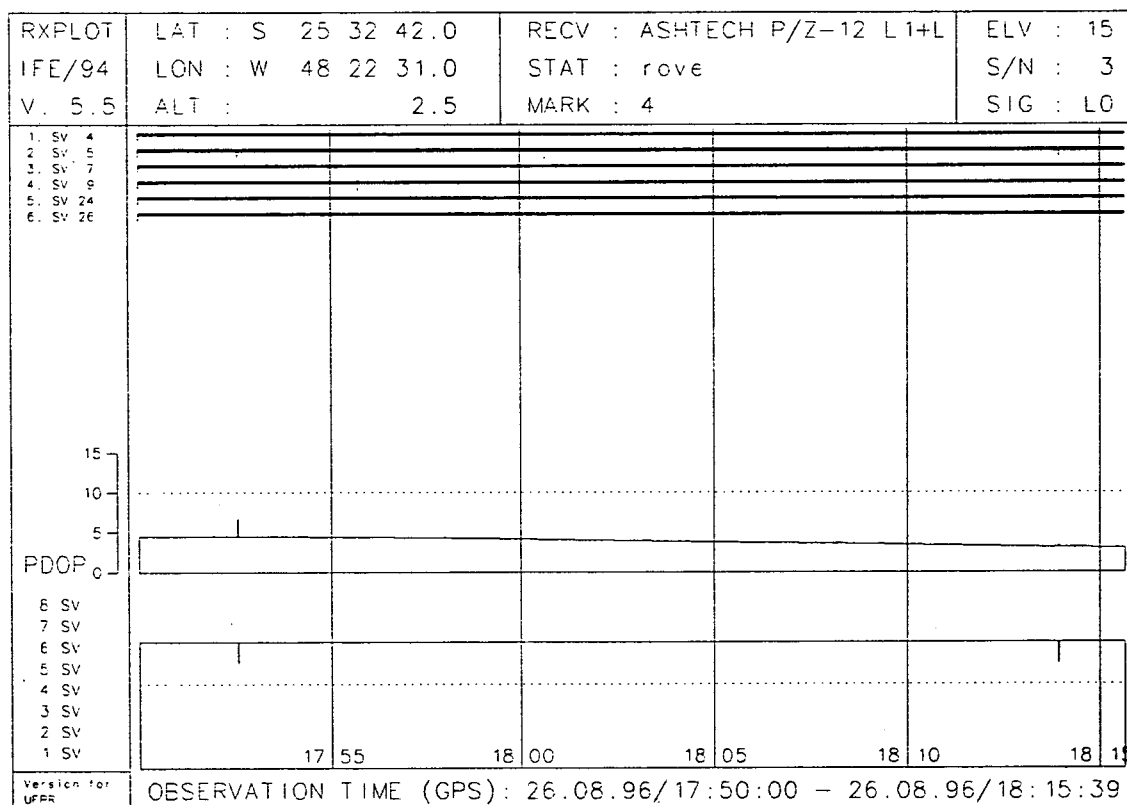
TRAJETÓRIA	ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA	ESTAÇÃO MÓVEL	DISTÂNCIA MÉDIA APROXIMADA ENTRE AS ESTAÇÕES (km)
BC	PGUA (Paranaguá)	GEO (Pontal do Sul)	17
BL	ECC3 (Curitiba)	GEO (Pontal do Sul)	92

6.6.3.1 CONSTELAÇÃO DE SATÉLITES PARA AS ESTAÇÕES EM 26.08.1996

Com o auxílio do programa RXPLOT, obtiveram-se para os dados coletados, informações sobre o número de perdas de ciclos ocorridas nas estações de referência e na móvel, o número de satélites presentes durante o rastreo e o PDOP para a geometria dos satélites. Utilizou-se uma elevação de 15° , uma relação sinal/ruído igual a 3 e o sinal obtido para a observável fundamental L_0 .

Pode-se observar no anexo 09 (gráficos 9.1 e 9.2) os RXPLOT's para as estações PGUA e ECC3, situadas em Paranaguá e Curitiba, respectivamente. O gráfico 55 representa o RXPLOT para a estação móvel ROVE (embarcação - GEO). Observa-se, em todas as estações, a presença constante de 6 satélites e um PDOP inferior a 5. Verifica-se, na estação de referência PGUA, pequena perda de sinal para o satélite 7, por volta das 18h 15m e perdas de sinal para o satélite 05 na estação ROVE (gráfico 48).

GRÁFICO 48 - VISIBILIDADE DOS SATÉLITES E INFORMAÇÕES SOBRE AS PERDAS DE CICLOS E SOBRE O PDOP EMBARCAÇÃO (GEO)

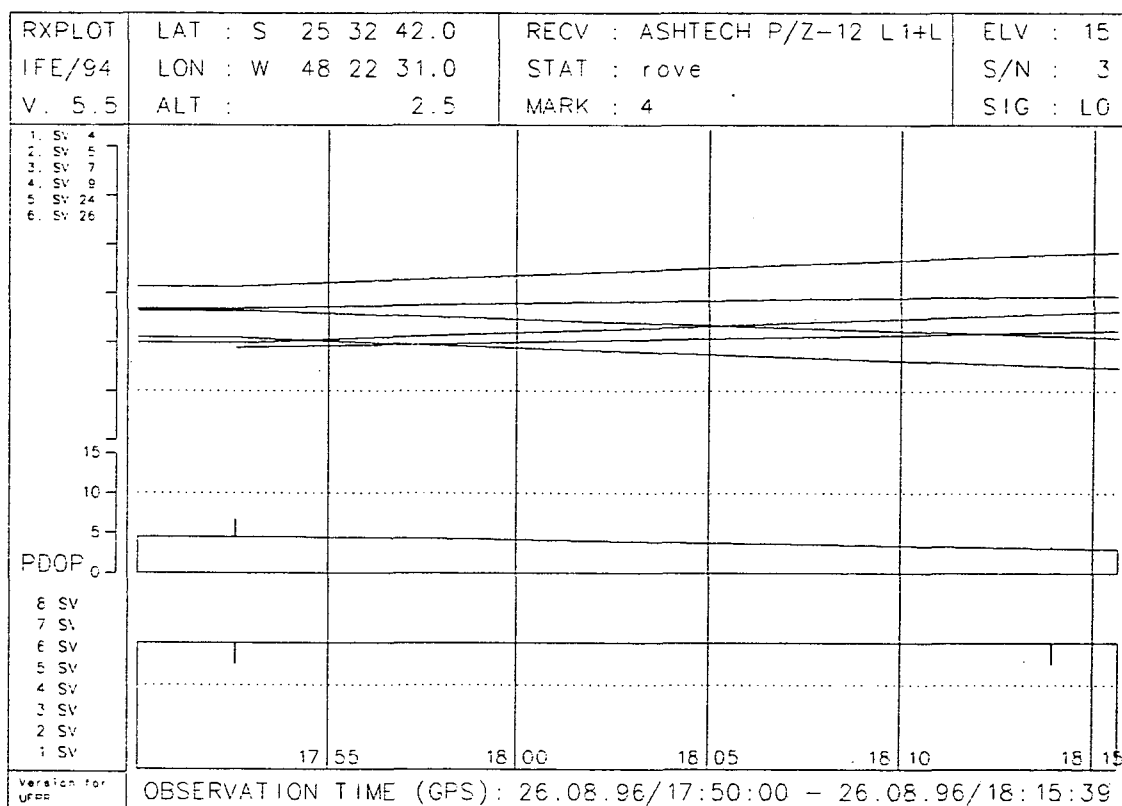


6.6.3.2 ELEVACÃO DOS SATÉLITES EM 26.08.1996

Com os dados coletados no campo e com o programa RXPLOT, obteve-se a elevação dos satélites visíveis para cada estação e o número de satélites envolvidos durante o rastreamento.

No anexo 10, é possível de se observar os gráficos para as estações PGUA e ECC3 (gráficos 10.1 e 10.2, respectivamente). Para a estação móvel ROVE, obteve-se o gráfico 49. Para esse intervalo de observação (17 h 50 m às 18 h 15 m 39 s), verifica-se que há apenas um satélite com elevação superior a 45 graus, os demais (5 satélites) encontram-se abaixo dessa elevação, porém o PDOP é inferior a 5 (seção 6.6.3.1). A constelação de satélites (PRN's 04, 05, 07, 09, 24 e 26) permanece presente durante todo o levantamento.

GRÁFICO 49 - ELEVACÃO DOS SATÉLITES VISÍVEIS NA EMBARCAÇÃO (GEO)



6.6.3.3 OBTENÇÃO DA TRAJETÓRIA DESCRITA PELA EMBARCAÇÃO UTILIZANDO O PROGRAMA GEONAP

De posse dos dados e dos RXPLOT's, passou-se a sua exploração. O objetivo desse levantamento foi obter e analisar as soluções PDGPS para estações de referência distintas, aplicando a tecnologia adquirida na Alemanha. Inicialmente, busca-se obter as soluções para a trajetória descrita pela embarcação (tabela 50), utilizando-se as estações de referência descritas na seção 6.6.1. Recorreu-se ao pós-processamento dos dados através do programa GEONAP-K.

6.6.3.3.1 TRAJETÓRIA BC (PGUA x ROVE) DESCRITA PELA EMBARCAÇÃO (GEO)

Para as estações PGUA e ROVE, trajetória BC, utilizou-se inicialmente as efemérides transmitidas e obteve-se a solução das ambigüidades através da solução +X (ver seção 2.8.1).

Buscando obter a melhor solução para a trajetória BC, realizaram-se outros processamentos dos dados coletados, utilizando o programa GEONAP, e variando alguns parâmetros. Na tabela 50, observam-se essas soluções. Para uma posterior análise da precisão a ser obtida com a trajetória BL, é necessário a busca da melhor solução para BC.

TABELA 50 - SOLUÇÕES DA TRAJETÓRIA BC

<i>SOLUÇÃO</i>	<i>EFEMÉRIDES TRANSMITIDAS</i>	<i>EFEMÉRIDES PRECISAS</i>	<i>FATOR DE ESCALA TROPOSFÉRICO</i>	<i>PARÂMETROS TROPOSFÉRICOS ATUAIS</i>
BC1	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
BC2	NÃO	SIM	NÃO	NÃO
BC3	NÃO	SIM	SIM	NÃO
BC4	NÃO	SIM	SIM	SIM
BC5	NÃO	SIM	NÃO	SIM

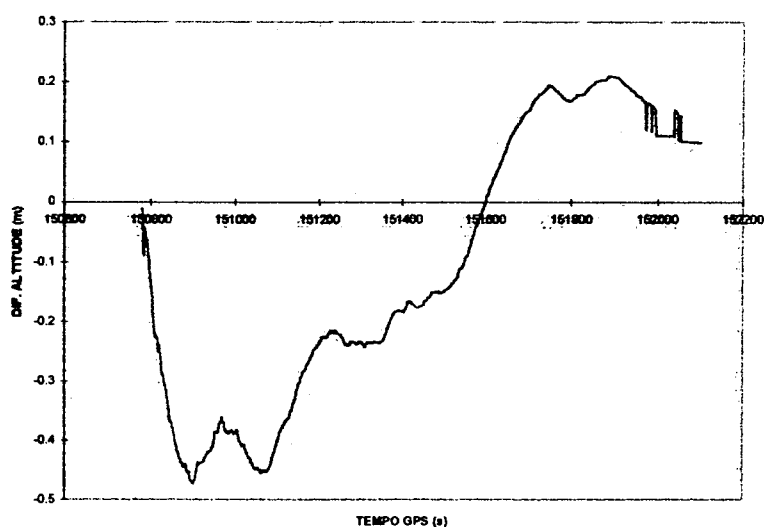
Procedeu-se ao cálculo das diferenças existentes entre as soluções obtidas. Esses cálculos foram realizados com as coordenadas elipsoidais (WGS84), proporcionando uma melhor análise dos erros na posição. A transformação das coordenadas cartesianas (X,Y,Z)

para coordenadas (ϕ, λ, h) foi realizada através do módulo de transformação do programa GEONAP (ver seção 2.8.1). O h refere-se a altitude elipsoidal ou geométrica no WGS84.

Inicialmente, analisa-se as diferenças existentes entre as soluções BC2 e BC1. Nessas soluções, através da tabela 50, verifica-se que a diferença entre elas consiste no tipo de efemérides utilizadas (transmitidas ou precisas). As diferenças obtidas para as coordenadas ϕ são inferiores a -0,2 cm, para λ , são inferiores a 0,3 cm e para h , inferiores a -1,8 cm. Sendo essas diferenças, não significativas para os trabalhos no ambiente marinho, não foram os seus gráficos introduzidos no presente trabalho. Elas indicam, conforme a teoria, que para bases curtas a aplicação das efemérides precisas não é tão representativa quanto para as bases longas.

Observa-se pela tabela 50, que nas soluções BC2 e BC3 é utilizada as efemérides precisas e que elas, diferem entre si pelo emprego ou não do fator de escala troposférico. As diferenças existentes entre as coordenadas (ϕ, λ) geradas por ambas as soluções encontram-se representadas no anexo 11. Para as coordenadas ϕ (gráfico 11.1), há diferenças não significativas, ou seja, encontram-se entre -0,8 cm e +1,1 cm. Após o tempo 151.998 (18 h 13 m 18 s), verifica-se uma variação da ordem de 0,8 cm. No gráfico 11.2 (anexo 11), as diferenças para as coordenadas λ são inferiores a -0,8 cm até o tempo GPS 151.998 s e após esse tempo, são da ordem de 0,8 cm. Para h , verifica-se diferenças compreendidas entre -47 cm a +20 cm (ver gráfico 50).

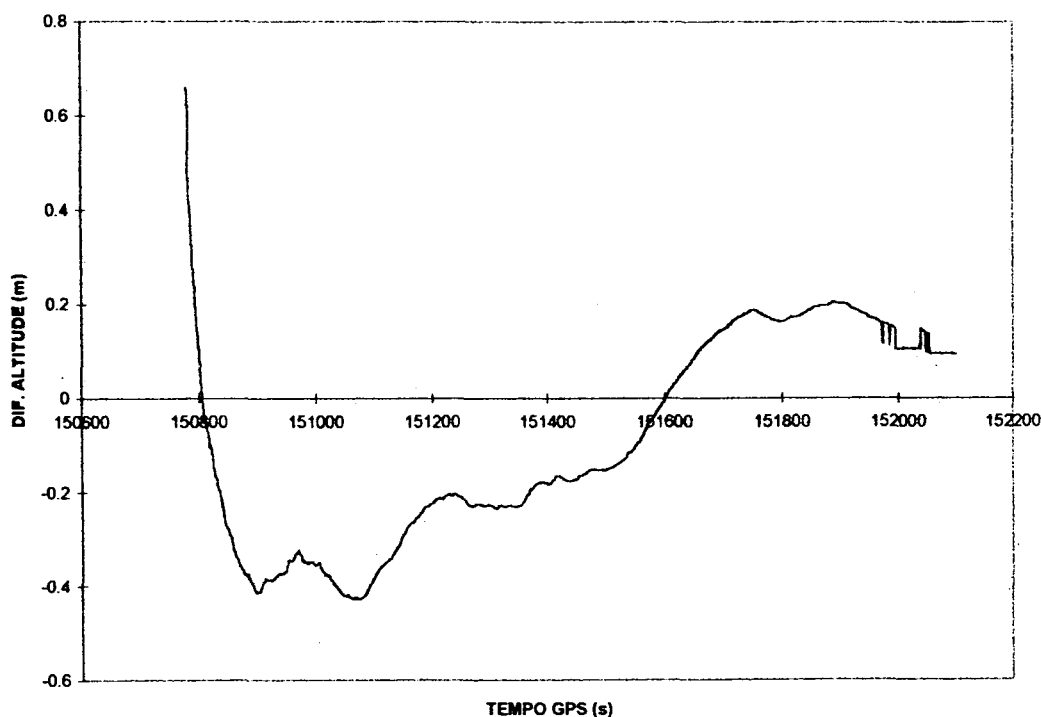
GRÁFICO 50 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC2 - BC3)



Procedeu-se ao cálculo das diferenças existentes entre as coordenadas (ϕ, λ, h) geradas pelas soluções BC2 e BC4, nelas foram utilizadas as efemérides precisas. A solução BC4 foi obtida com a aplicação do fator de escala troposférico e dos parâmetros troposféricos atuais (tabela 43) e a BC2 sem a utilização deles (ver tabela 50).

As diferenças obtidas para as coordenadas ϕ e para as coordenadas λ foram inferiores ao centímetro. O gráfico 51, indica as diferenças em altitude, que se encontram entre -45 cm a +20 cm.

GRÁFICO 51 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC2- BC4)



As diferenças em ϕ geradas entre as soluções BC2 e BC5, encontram-se representadas nos gráfico 63. No gráfico 64, as diferenças em λ e no gráfico 65, em h . Para as latitudes, as diferenças foram inferiores a 4 cm, para as longitudes a variação foi de 0,5 cm a -2,0 cm e para as altitudes de 80 cm a 60 cm. Verifica-se que essas diferenças são crescentes com o passar do tempo. Observa-se nesses gráficos, a presença de um salto nas diferenças após o tempo 151.998 (18 h 13 m 18 s); para ϕ , foram da ordem de 4 cm; para λ , da ordem de 4 cm e para h , de 15 cm.

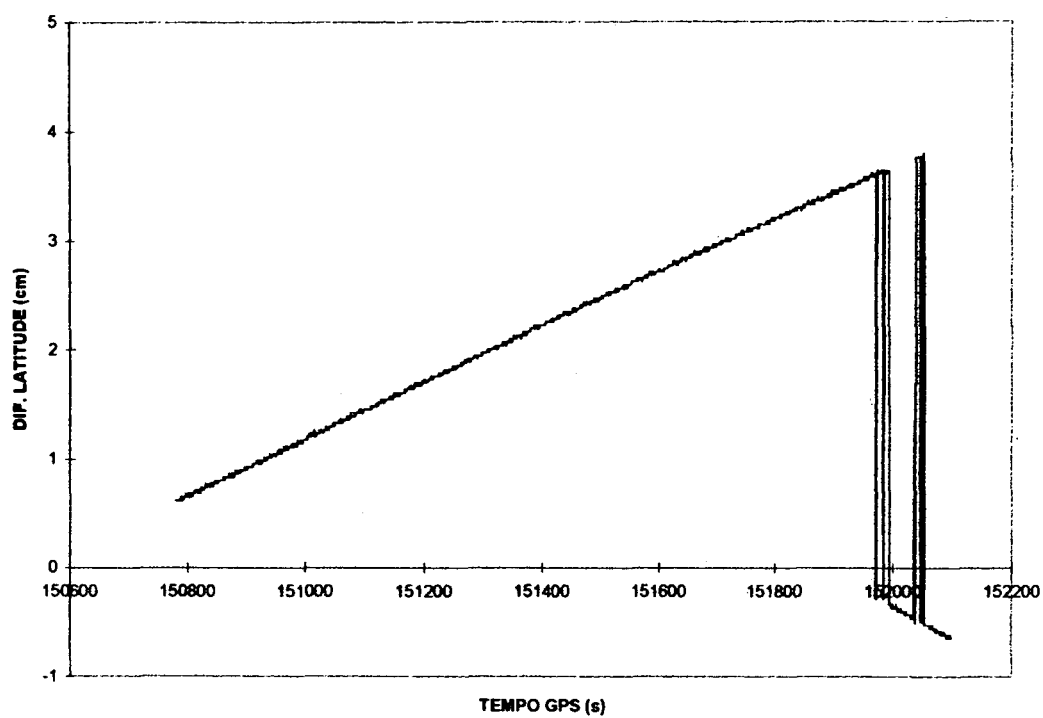
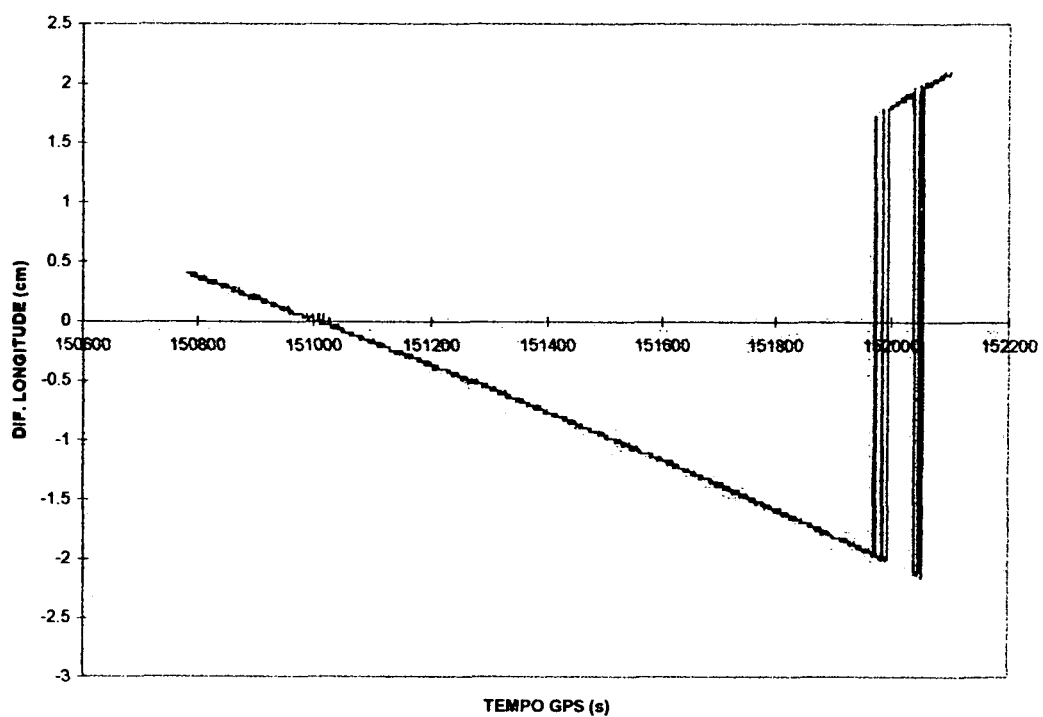
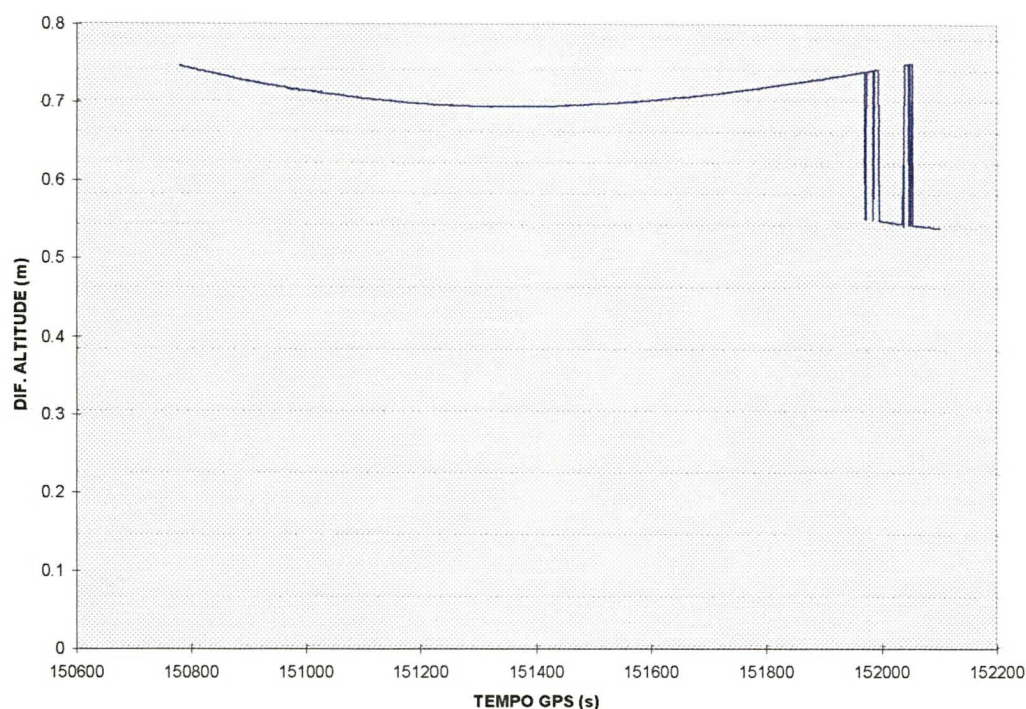
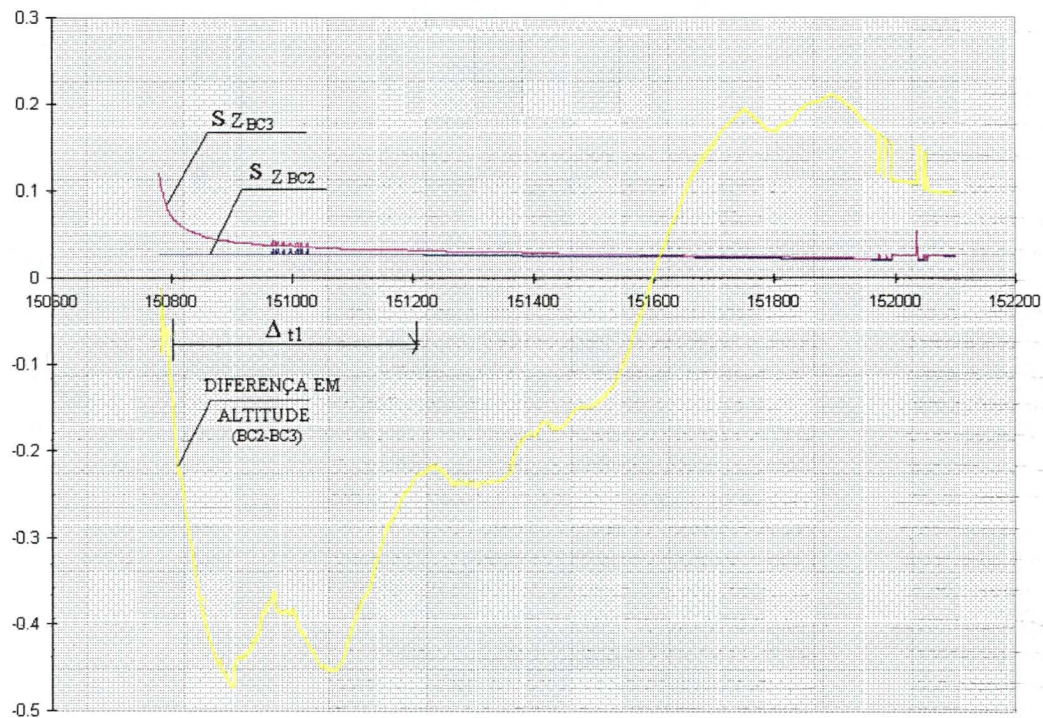
GRÁFICO 52 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS ϕ (BC2- BC5)**GRÁFICO 53 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS λ (BC2- BC5)**

GRÁFICO 54 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC2- BC5)

Pelas diferenças obtidas até o momento, constata-se que a introdução das efemérides precisas acarreta em pequenas diferenças entre as soluções; contudo, o fator de escala atua diretamente nas altitudes (ver gráficos 50, 51 e 54). Com a introdução na solução, dos parâmetros troposféricos atuais e do fator de escala troposférico se observa uma redução da ordem de centímetros nas diferenças. Pode-se concluir que é viável a introdução de ambos na solução, visto que as diferenças não foram significativas para o emprego do GPS no âmbito marinho. A fim de se determinar a melhor solução BC, é feito, na sequência, uma análise dos desvios padrão obtidos, quando da introdução do fator de escala troposférico e dos parâmetros troposféricos atuais. Analisa-se as soluções: BC2 com BC3, BC2 com BC4 e BC2 com BC5.

No gráfico 55, está indicada a diferença em altitude obtida entre essas soluções (BC2 e BC3). Essa diferença, encontra-se entre -47 cm e +20 cm. Também apresentam-se os desvios padrão obtidos para as coordenadas Z, com as soluções BC2 e BC3, obtidos com a utilização do programa GEONAP-K. Verifica-se que elas diferem entre si, de alguns centímetros; e no intervalo de tempo (Δt_1) compreendido entre 150.800 s (17 h 53 m 20 s) a 151.200 s (18 h 00 m 00 s) essa diferença é mais significativa. Os desvios padrão para a solução BC3 é que apresentam os valores mais elevados, comprovando mais uma vez que a introdução do fator de escala afeta mais a solução, enfraquecendo o sistema.

GRÁFICO 55- DIFERENÇAS EM ALTITUDE ENTRE AS SOLUÇÕES BC2 E BC3 E OS DESVIOS PADRÃO CALCULADOS PARA AS COORDENADAS Z PELO PROGRAMA GEONAP-K.



Observa-se no gráfico 56, o desvio padrão das posições calculadas (S_{XY}) com o GEONAP-K, para as duas soluções, utilizando-se a estação de referência PGUA e a embarcação (ROVE). Indica-se também, a diferença total entre as duas soluções, a qual é inferior a 43 cm. O desvio padrão (S_{XY}) para a solução BC2 (com efemérides precisa e sem fator de escala) é inferior a 10 cm e para a solução BC3 (com efemérides precisas e com fator de escala) inferior a 5 cm. Nota-se que com a introdução do fator de escala, na solução BC4, há uma elevação dos desvios padrão (ordem de centímetros) com relação a solução BC3. Por volta dos 152.000 s GPS, os desvios padrão das soluções (BC2 e BC3) tendem a se igualar.

A diferença em altitude obtida entre essas soluções (BC2 e BC4), encontram-se indicadas no gráfico 57. Ela, está entre -43 cm e +18 cm. Com a utilização do programa GEONAP-K, foram obtidos os desvios padrão para as coordenadas Z. Como no caso anterior (gráfico 55), eles diferem entre si, de alguns centímetros tendendo com o passar do tempo a se igualarem. Ao se comparar esse gráfico com o gráfico 55, observa-se uma leve redução para as diferenças em h.

GRÁFICO 56- DESVIO PADRÃO DAS POSIÇÕES CALCULADAS COM O GEONAP-K, PARA AS SOLUÇÕES BC2 E BC3 E A DIFERENÇA TOTAL ENTRE AS DUAS SOLUÇÕES

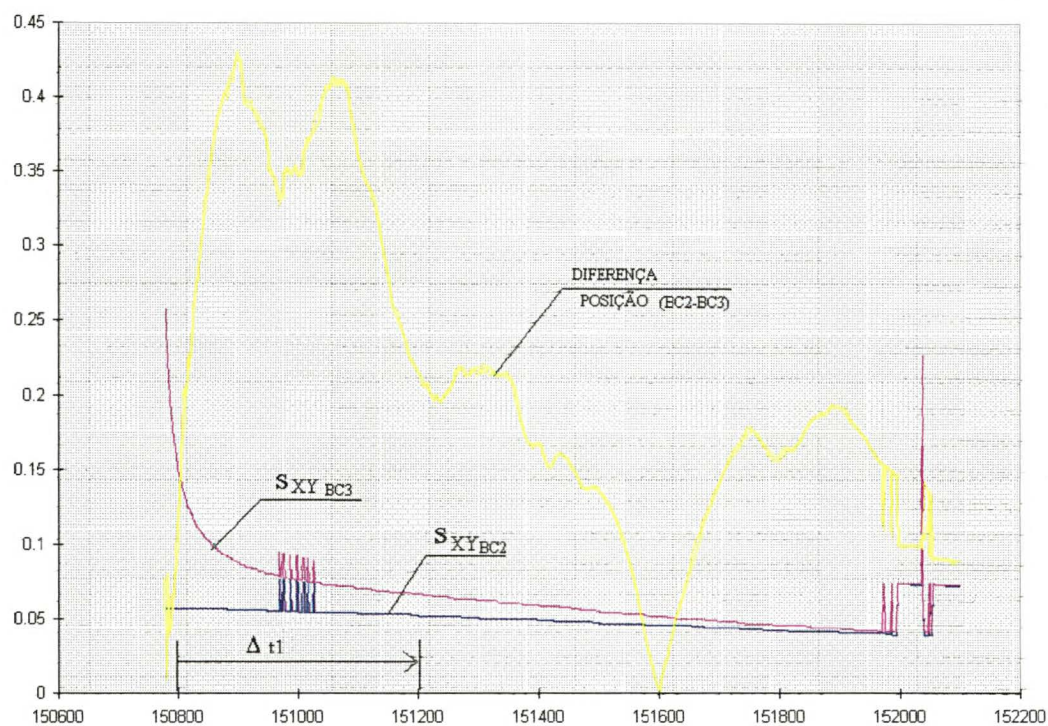
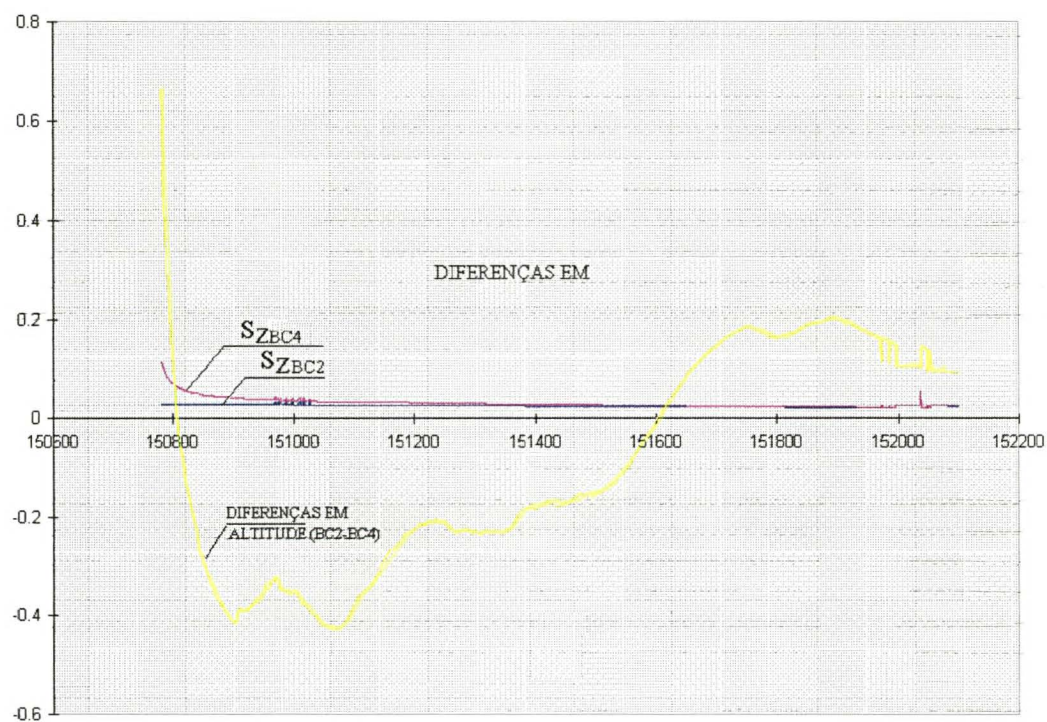
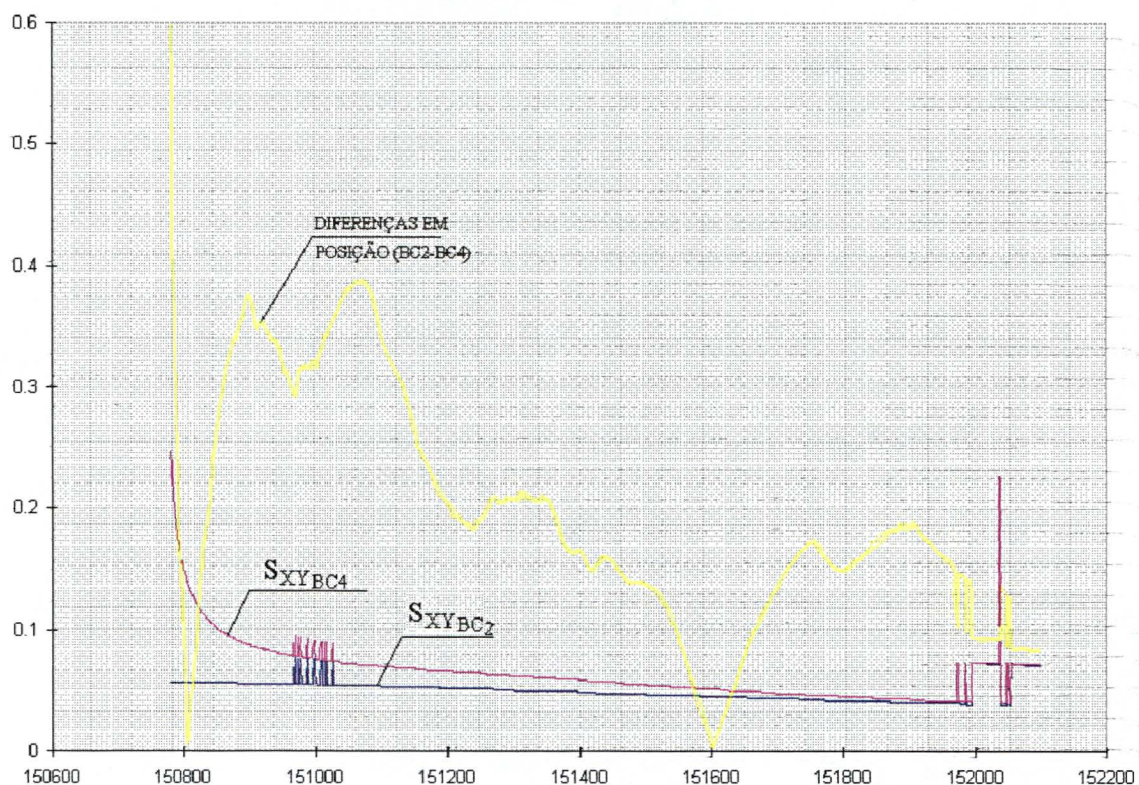


GRÁFICO 57- DIFERENÇAS EM ALTITUDE ENTRE AS SOLUÇÕES BC2 E BC4 E OS DESVIOS PADRÃO CALCULADOS PARA AS COORDENADAS Z PELO PROGRAMA GEONAP-K.



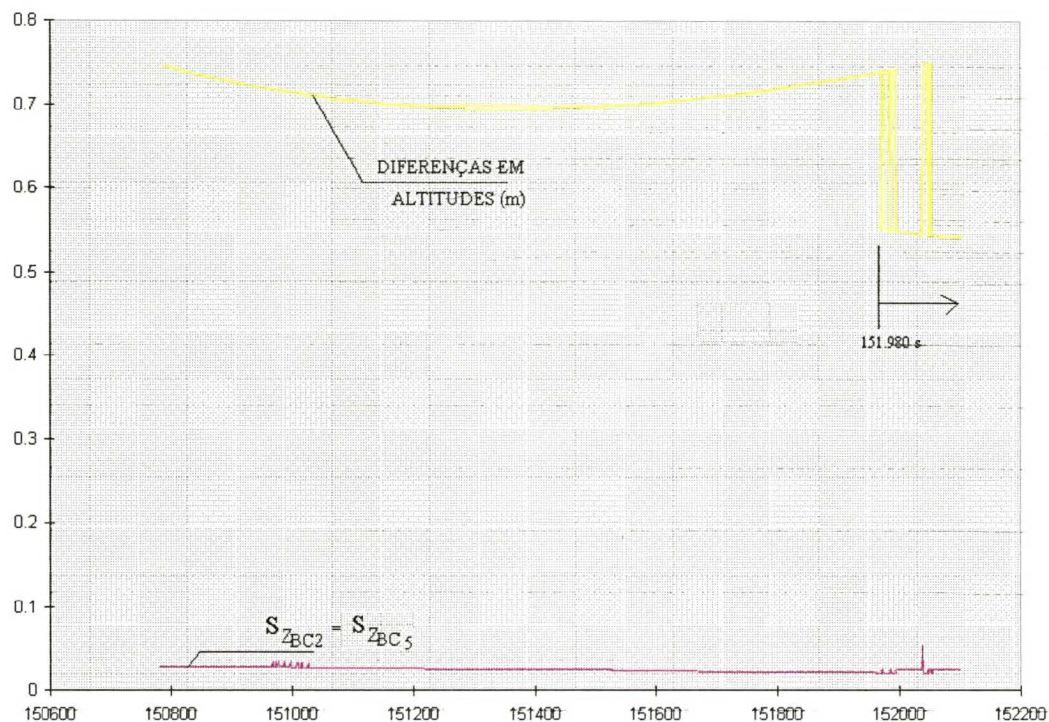
O desvio padrão das posições calculadas (S_{XY}) com o GEONAP-K, para as duas soluções, utilizando-se a estação de referência PGUA e a embarcação (ROVE), pode ser observada no gráfico 58. Indica-se também, a diferença total entre as duas soluções, a qual é inferior a 37 cm. O desvio padrão (S_{XY}) para a solução BC2 (com efemérides precisa e sem fator de escala) é inferior a 5 cm e para a solução BC4 (com efemérides precisas, com fator de escala e parâmetros troposféricos atuais) é inferior a 10 cm. Nota-se que com a introdução do fator de escala e dos parâmetros troposféricos atuais há uma redução para as diferenças em posição ao se observar os gráficos 58 e 56 e os desvios padrão para XY permanecem praticamente iguais.

GRÁFICO 58- DESVIO PADRÃO DAS POSIÇÕES CALCULADAS COM O GEONAP-K, PARA AS SOLUÇÕES BC2 E BC4 E A DIFERENÇA TOTAL ENTRE AS DUAS SOLUÇÕES



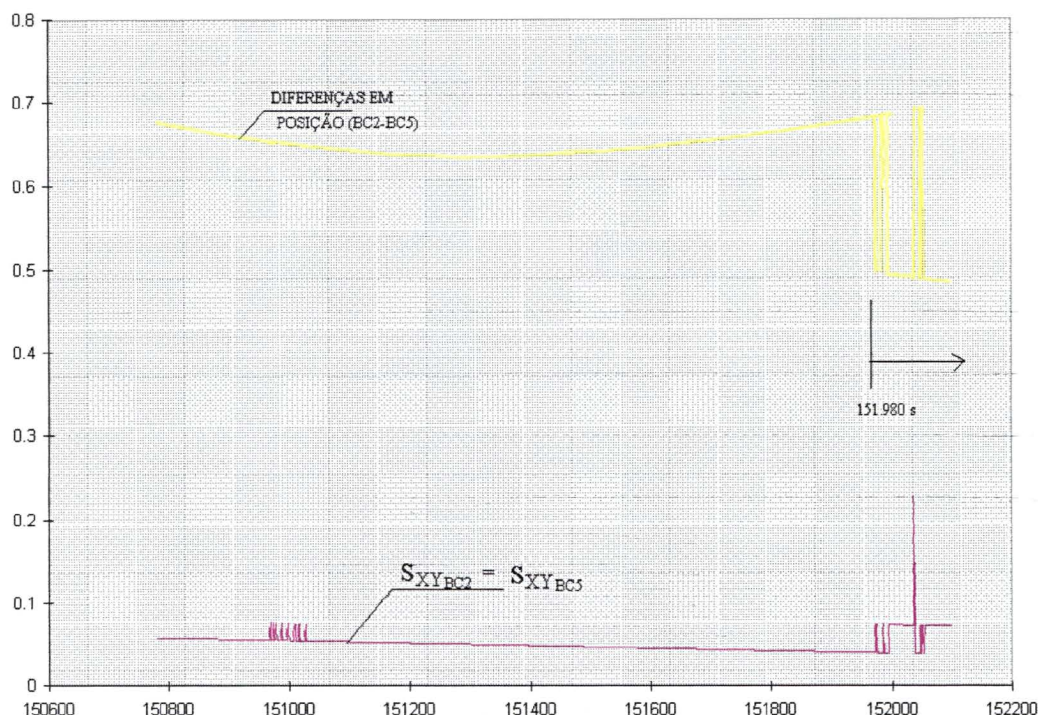
No gráfico 59, está indicado a diferença em altitude obtida entre essas soluções (BC2 e BC5). Ela, encontra-se entre +70 cm e +75 cm até o tempo GPS 151.980 s, após esse há variações de 20 cm. Os desvios padrão obtidos para as coordenadas Z, com essas soluções e com a utilização do programa GEONAP-K, estão representados nesse gráfico e são inferiores a 3 cm. Verifica-se que as curvas não diferem entre si.

GRÁFICO 59- DIFERENÇAS EM ALTITUDE ENTRE AS SOLUÇÕES BC2 E BC5 E OS DESVIOS PADRÃO CALCULADOS PARA AS COORDENADAS Z PELO PROGRAMA GEONAP-K



Observa-se no gráfico 60, o desvio padrão das posições calculadas (S_{XY}) para as soluções BC2 e BC5. Indica-se também, a diferença total entre as duas soluções, a qual está compreendida entre 65 cm a 70 cm. Os desvios padrão (S_{XY}) para as soluções BC2 (com efemérides precisa e sem fator de escala) e BC5 (com efemérides precisas e com parâmetros troposféricos atuais) são iguais e inferiores a 5 cm. Observa-se que após o tempo 151.980 s (18 h 13 m 00 s) GPS, há picos de variação para os desvios padrão e para as diferenças em posição calculadas. Nesse período, verifica-se pelo gráfico 48, que houve perda de sinal para o satélite 5. Fato esse, que pode ter ocasionado dificuldades na resolução das ambigüidades, provocando uma elevação dos desvios padrão para as coordenadas.

GRÁFICO 60- DESVIO PADRÃO DAS POSIÇÕES CALCULADAS COM O GEONAP-K, PARA AS SOLUÇÕES BC2 E BC3 E A DIFERENÇA TOTAL ENTRE AS DUAS SOLUÇÕES



Da análise dos gráficos 55 a 60, constata-se que a introdução do fator de escala e dos parâmetros troposféricos para trajetória BC acarretam em diferenças centimétricas. Nas soluções em que se aplica o fator de escala troposférico, é possível observar uma elevação nos desvios padrão ao se comparar com a solução sem aplicação desse parâmetro. Essas elevações foram da ordem de centímetros, conforme se observa nos gráficos 55 a 58. A existência de picos nos desvios padrão e nas diferenças calculadas para o tempo GPS igual a 151.980 s, podem ser decorrência de perda de sinal detectada para o satélite 05 (gráfico 48) ou para o satélite 07 (gráfico 9.1). Ela, pode ter ocasionado em uma falsa resolução de ambigüidades elevando os desvios padrão e introduzindo erros sistemáticos nas coordenadas determinadas. Admite-se que BC2 é a melhor solução no processamento dos dados coletados pela estação de referência PGUA e a embarcação GEO, para essa solução verifica-se os menores desvios padrão e diferenças de ordem centimétrica.

6.6.3.3.2 TRAJETÓRIA BL (ECC3 x ROVE) DESCRITA PELA EMBARCAÇÃO

A trajetória BL, foi obtida pelo rastreamento simultâneo nas estações ECC3 (estação de referência) e ROVE (estação móvel - embarcação GEO). Inicialmente foram utilizadas as

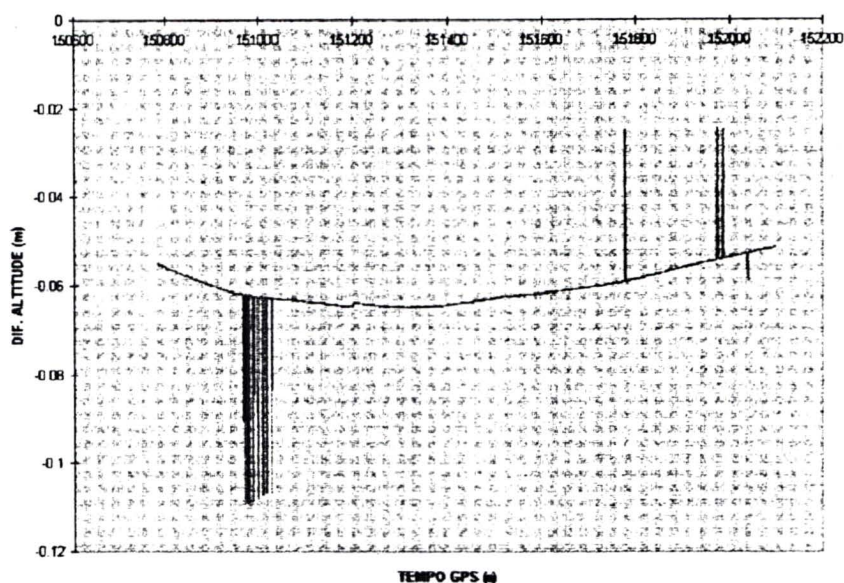
efemérides transmitidas e a solução das ambigüidades foi obtida através da solução +X (ver seção 1.8.1). Posteriormente, verifica-se as soluções utilizando as efemérides precisas e aplicando-se ou não o fator de escala troposférico e os parâmetros troposféricos atuais, como já foi realizado para a trajetória BC. As soluções obtidas estão relacionadas na tabela 51.

TABELA 51 - SOLUÇÕES DA TRAJETÓRIA BL

<i>SOLUÇÃO</i>	<i>EFEMÉRIDES TRANSMITIDAS</i>	<i>EFEMÉRIDES PRECISAS</i>	<i>FATOR DE ESCALA TROPOSFÉRICO</i>	<i>PARÂMETROS TROPOSFÉRICOS ATUAIS</i>
BL1	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
BL2	NÃO	SIM	NÃO	NÃO
BL3	NÃO	SIM	SIM	NÃO
BL4	NÃO	SIM	SIM	SIM
BL5	NÃO	SIM	NÃO	SIM

Os cálculos das diferenças existentes, entre duas a duas das soluções foram realizados em coordenadas elipsoidais (ϕ , λ , h). A transformação das coordenadas cartesianas (X , Y , Z) para coordenadas (ϕ , λ , h) foi realizada por módulos do programa GEONAP (1.8.1).

Analisa-se, inicialmente, as diferenças existentes entre as soluções BL2 e BL1. Segundo a tabela 51, elas diferem entre si pela utilização das efemérides transmitida ou precisa. Essas diferenças foram da ordem de centímetros; em ϕ , foram inferiores a -1,2 cm e em λ , foram inferiores a 1,7 cm. O gráfico 61, apresenta as diferenças em altitude que são inferiores a -6 cm, a menos das variações que se apresentam por volta do tempo GPS 151.000 s (17 h 56 m 40 s).

GRÁFICO 61 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BL2- BL1)

Nos gráficos 62 (para $\Delta\phi$), 63 (para $\Delta\lambda$), e 64 (para Δh), podem ser observadas as diferenças obtidas entre as soluções BL2 e BL3. Elas, diferem entre si pela introdução ou não do fator de escala troposférico (tabela 51). As diferenças entre as latitudes encontram-se entre 2 m e 1,65 m (decrecente com o tempo); as diferenças entre as longitudes variam de -2,1 m a -1,75 m (decrecente com o tempo) e para as altitudes de -1,0 m a -4,5 m (crescente com o tempo). Essas diferenças são significativas para os levantamentos no âmbito marinho e fogem da precisão desejada para o posicionamento PDGPS (figura 02).

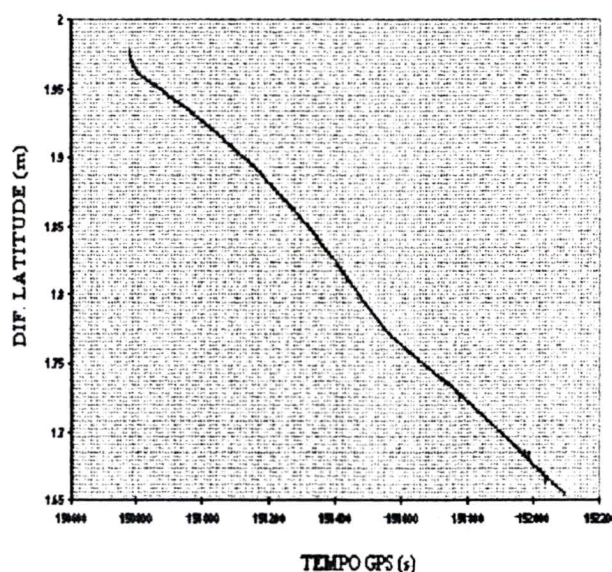
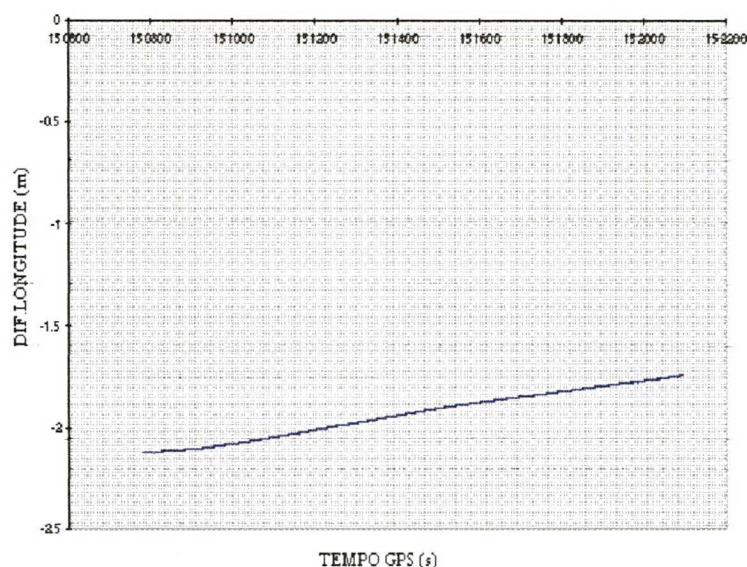
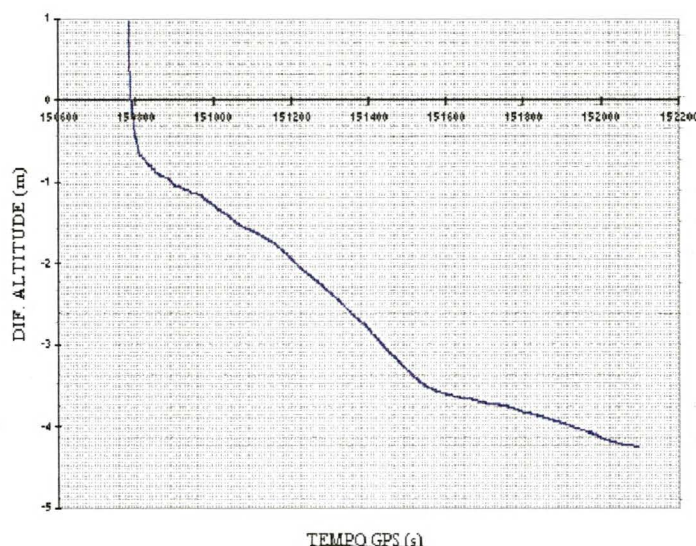
GRÁFICO 62 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS ϕ (BL2-BL3)

GRÁFICO 63 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS λ (BL2-BL3)**GRÁFICO 64 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS λ (BL2-BL3)**

Observa-se pela tabela 51, que as soluções BL2 e BL4 empregam as efemérides precisas e diferem entre si pelo emprego do fator de escala troposférico e dos parâmetros troposféricos atuais. Verificou-se que as diferenças obtidas com essas soluções foram idênticas as obtidas anteriormente para as diferenças entre BL2 e BL3.

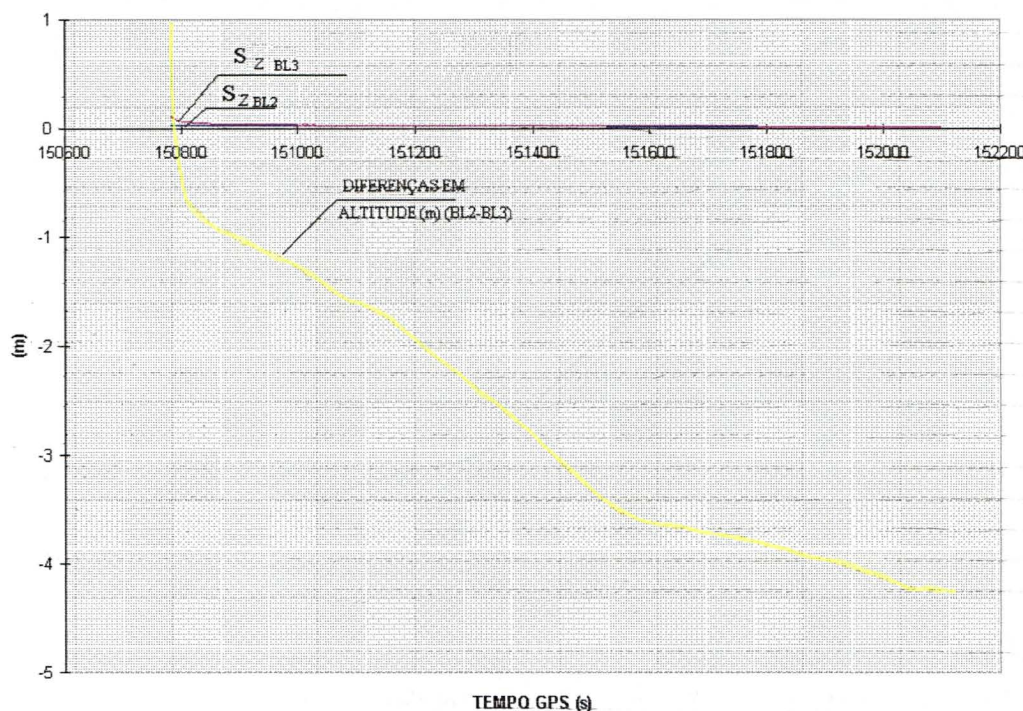
As diferenças obtidas entre as soluções BL2 e BL5 foram para as latitudes inferiores a 0,15 cm; para as longitudes, foram inferiores a 0,16 cm e para as altitudes foram inferiores a -1,5 cm. Essas diferenças não significativas para o âmbito marinho, observa-se que para a base

longa a introdução dos parâmetros troposféricos atuais não tem grande representação na solução.

Na sequência, é realizada uma análise dos desvios padrão obtidos quando da introdução do fator de escala troposférico e dos parâmetros troposféricos atuais. Analisa-se as soluções: BL2 com BL3, BL2 com BL4 e BL2 com BL5.

A diferença em altitude obtida entre essas soluções (BL2 e BL3) está indicada no gráfico 65. Essa diferença, encontra-se entre 0,0 m e -4,2 m. Também, observam-se os desvios padrão obtidos para as coordenadas Z, com as soluções BL2 e BL3. Verifica-se que eles diferem entre si de alguns centímetros (< 2 cm). Para a solução BL3 verificam-se os valores mais elevados.

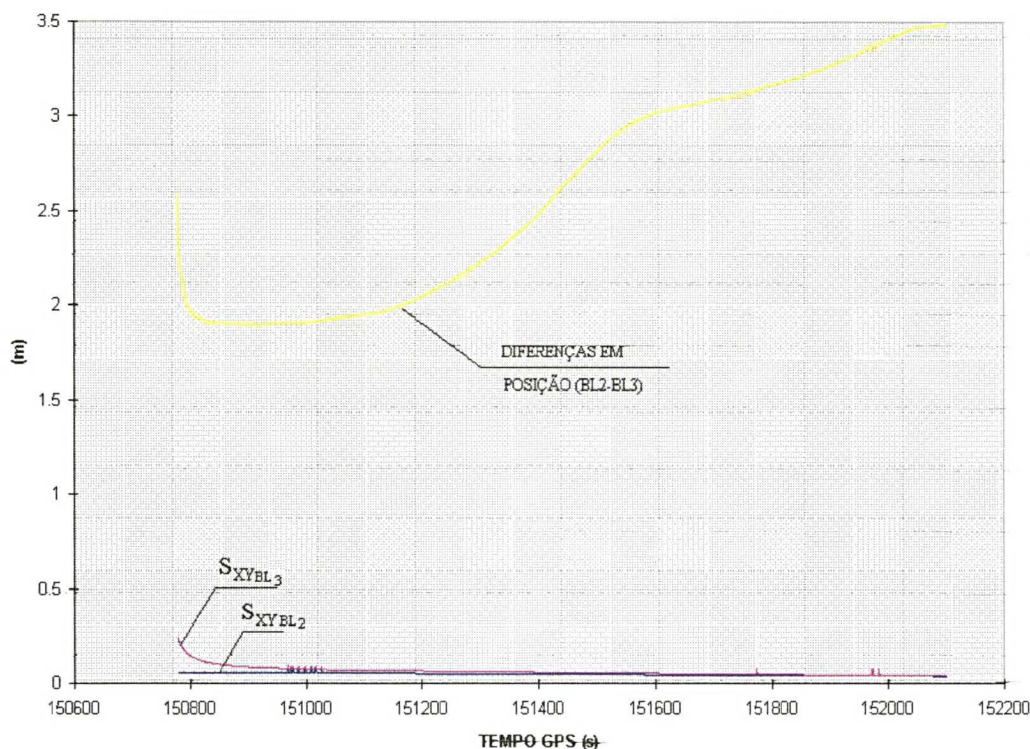
GRÁFICO 65- DIFERENÇAS EM ALTITUDE ENTRE AS SOLUÇÕES BL2 E BL3 E OS DESVIOS PADRÃO CALCULADOS PARA AS COORDENADAS Z PELO PROGRAMA GEONAP-K.



Observa-se no gráfico 66, o desvio padrão das posições calculadas (S_{XY}) para as soluções BL2 e BL3. Indica-se também, a diferença total em posicionamento entre essas soluções, a qual se encontra entre 2,0 m e 3,5 m, elevando-se com o decorrer do tempo. O desvio padrão (S_{XY}) para a solução BL2 (com efemérides precisa e sem fator de escala) é inferior a 10 cm e para a solução BL3 (com efemérides precisas e com fator de escala) inferior

a 5 cm. Esses valores decrescem com o passar do tempo. Nota-se que com a introdução do fator de escala, na solução BL4, há uma elevação dos desvios padrão (ordem de centímetros) com relação a solução BL3.

GRÁFICO 66- DESVIO PADRÃO DAS POSIÇÕES CALCULADAS COM O GEONAP-K, PARA AS SOLUÇÕES BL2 E BL3 E A DIFERENÇA TOTAL ENTRE AS DUAS SOLUÇÕES



A diferença em altitude obtida entre as soluções BL2 e BL4, e os desvios padrão para as coordenadas Z não apresentam diferenças com os valores apresentados no gráfico 65. Verifica-se que os desvios padrão das posições e as diferenças entre essas soluções também são idênticos aos apresentados no gráfico 66.

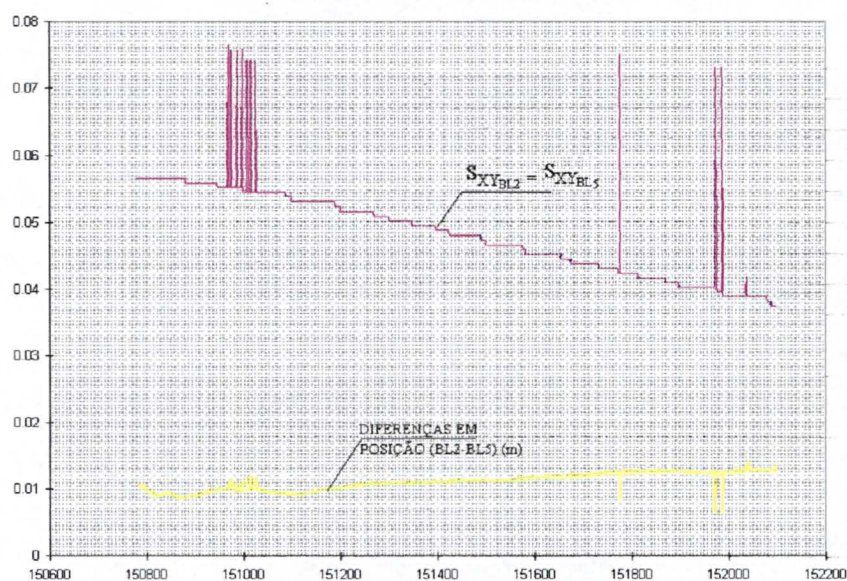
Para as soluções BL2 e BL5, as diferenças em altitude são inferiores a -1,5 cm e os desvios padrão obtidos para as coordenadas Z são idênticos e encontram-se entre 2 cm a 3 cm. Estes podem ser observados no gráfico 67.

GRÁFICO 67- DIFERENÇAS EM ALTITUDE ENTRE AS SOLUÇÕES BL2 E BL5 E OS DESVIOS PADRÃO CALCULADOS PARA AS COORDENADAS Z PELO PROGRAMA GEONAP-K.



Observa-se no gráfico 68, o desvio padrão das posições calculadas (S_{XY}) para as soluções BL2 e BL5 e a diferença total entre as duas soluções. Os desvios padrão (S_{XY}) para as soluções BL2 (com efemérides precisa e sem fator de escala) e BL5 (com efemérides precisas e com parâmetros troposféricos atuais) são idênticos e se encontram entre 4 cm a 6 cm. A diferença entre as soluções é da ordem de 1 cm.

GRÁFICO 68- DESVIO PADRÃO DAS POSIÇÕES CALCULADAS COM O GEONAP-K, PARA AS SOLUÇÕES BL2 E BL5 E A DIFERENÇA TOTAL ENTRE AS DUAS SOLUÇÕES.



Da análise dos gráficos 65 a 68, constata-se que os desvios padrão das coordenadas Z e das coordenadas XY apresentam diferenças centimétricas. Verifica-se que as soluções em que foi introduzido o fator de escala troposférico (BL3 e BL4) os valores desses são mais elevados. As diferenças em altitude, para os casos em que se introduziu esse fator, foram da ordem de alguns metros e crescem com o passar do tempo. Para as diferenças entre as posições obtidas com as soluções e com a introdução desse fator, verifica-se diferenças da ordem de metros e também crescem com o passar do tempo. No caso da base longa (ECC3 x ROVE) a introdução dos parâmetros troposféricos atuais apresentaram apenas diferenças centimétricas, as quais não são significativas.

As diferenças entre as soluções BL apresentaram valores significativos quando da introdução do fator de escala troposférico e dos parâmetros troposféricos atuais. Logo, faz-se necessária maiores investigações quanto as conseqüências dessas discrepâncias.

6.6.3.4 VERIFICAÇÃO DOS EFEITOS IONOSFÉRICOS DURANTE OS LEVANTAMENTOS

Pela análise dos gráficos anteriores, constata-se diferenças significativas entre as soluções. Visando analisar as possíveis causas dessas diferenças, optou-se pela verificação dos efeitos ionosféricos durante os levantamentos.

Com os arquivos RINEX gerados para as estações e utilizando o programa RXIONO desenvolvido pelo IfE, puderam ser obtidas informações sobre a taxa do conteúdo total de elétrons - *Total Electron Content* (TEC) - em função do tempo (horas).

Para a estação PGUA, obteve-se o gráfico 69; para a estação ECC3, o gráfico 70 e, para a estação móvel ROVE, o gráfico 71. Esses gráficos foram obtidos com o período de rastreo realizado em cada estação. Em geral, uma análise da influência da ionosfera é realizada com um maior período de observação. Utilizou-se, no presente caso o máximo de dados disponíveis, visando fornecer algumas informações sobre o efeito ionosférico nesse levantamento.

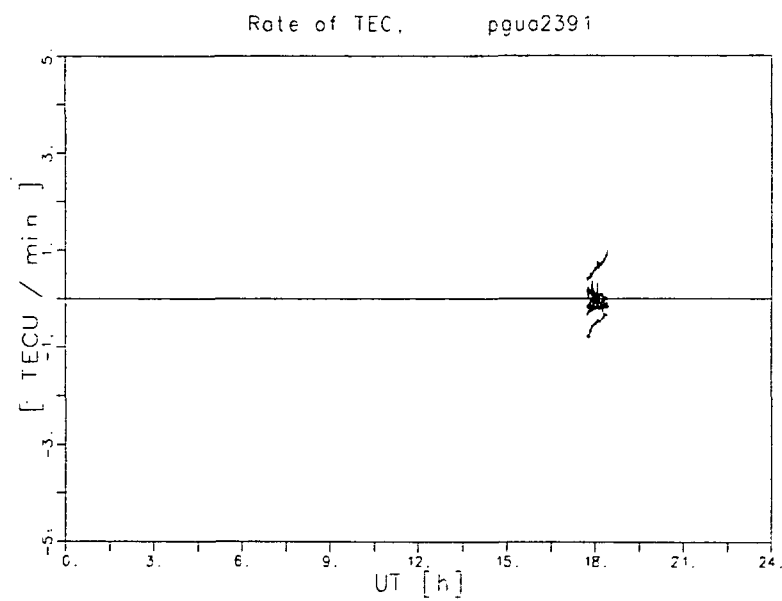
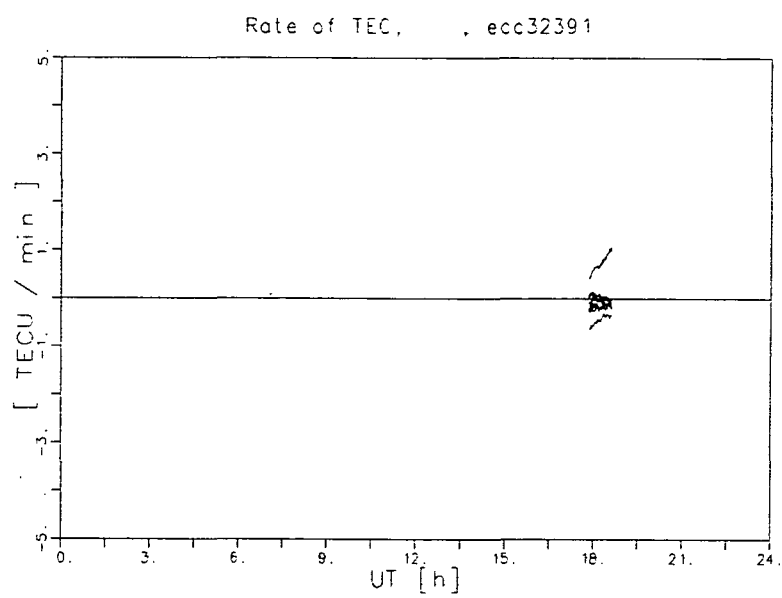
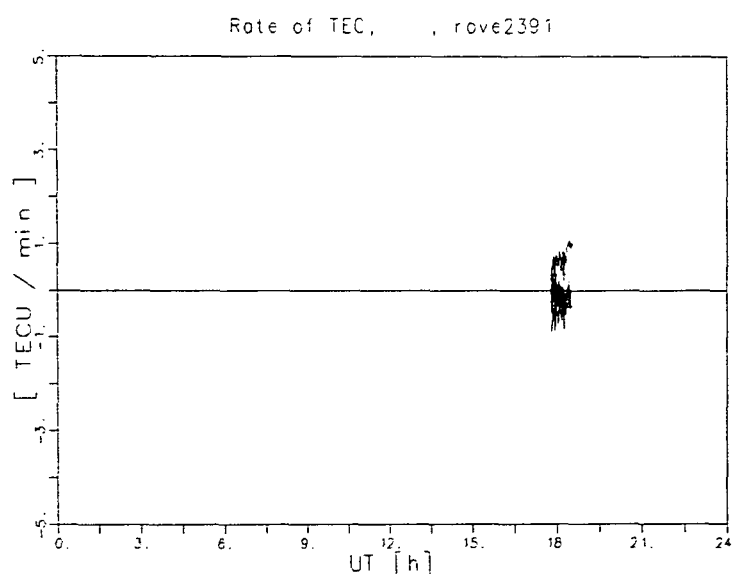
GRÁFICO 69 - CONTEÚDO TOTAL DE ELÉTRONS NA ESTAÇÃO PGUA**GRÁFICO 70 - CONTEÚDO TOTAL DE ELÉTRONS NA ESTAÇÃO ECC3**

GRÁFICO 71 - CONTEÚDO TOTAL DE ELÉTRONS NA ESTAÇÃO ROVE

Através de uma comparação desses gráficos com a figura 38, observa-se que para as estações (PGUA, ECC3, ROVE) houve pequenas perturbações ionosféricas para uma elevação de 15° . Contudo, essas não foram superiores a ± 1 TECU/min, para uma elevação de 15° .

6.6.3.5 SOLUÇÃO PDGPS PARA ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA DISTINTAS

Na seção 5.6.3.3.1, constatou-se que a melhor solução para trajetória BC é a BC2. Ela, é a solução obtida sem a aplicação do fator de escala troposférico e dos parâmetros troposféricos atuais. Essa solução, possibilitará uma análise da precisão para a trajetória BL., Verificou-se diferenças significativas (da ordem de metros) para a trajetória BL. e não se constatou, aparentemente, problemas ionosféricos para o período do levantamento.

A solução PDGPS para as distintas estações de referência (ECC3 e PGUA) é obtida a partir das soluções BC2 e BL2. As diferenças obtidas entre elas, estão representadas nos gráficos 72, 73 e 74..

No gráfico 72, observa-se que as diferenças em latitudes entre as soluções BC2 e BL2 encontram-se entre 50 cm e 60 cm; o gráfico 73 apresenta as diferenças entre as longitudes de 3,20 m a 3,32 m, e o gráfico 74 indica diferenças inferiores a 70 cm para as altitudes. Neste último caso, essas diferenças estão decrescendo ao longo do tempo.

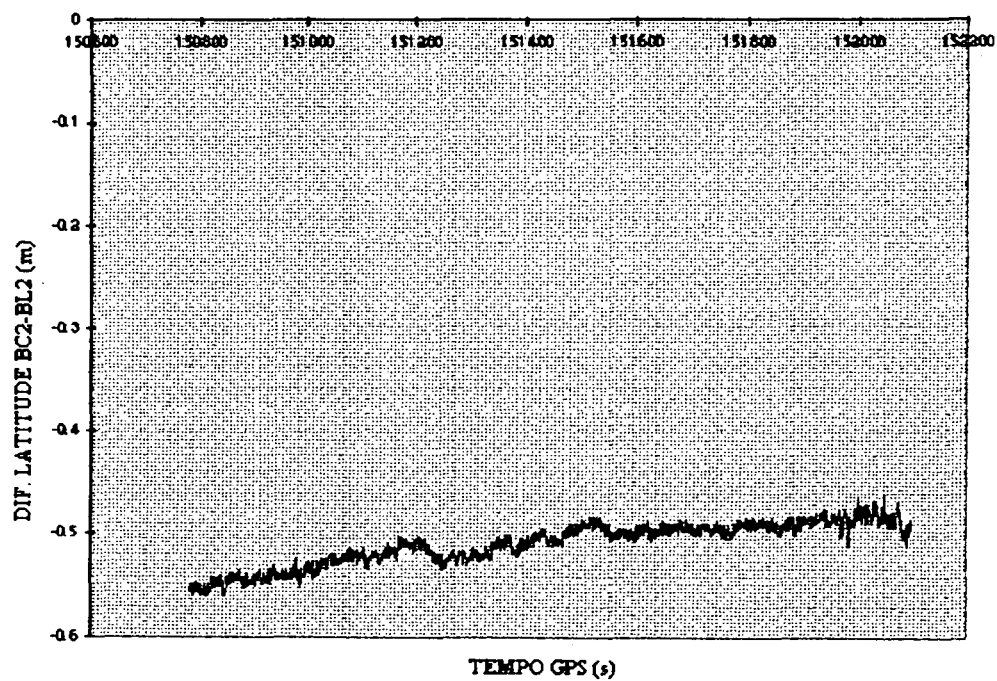
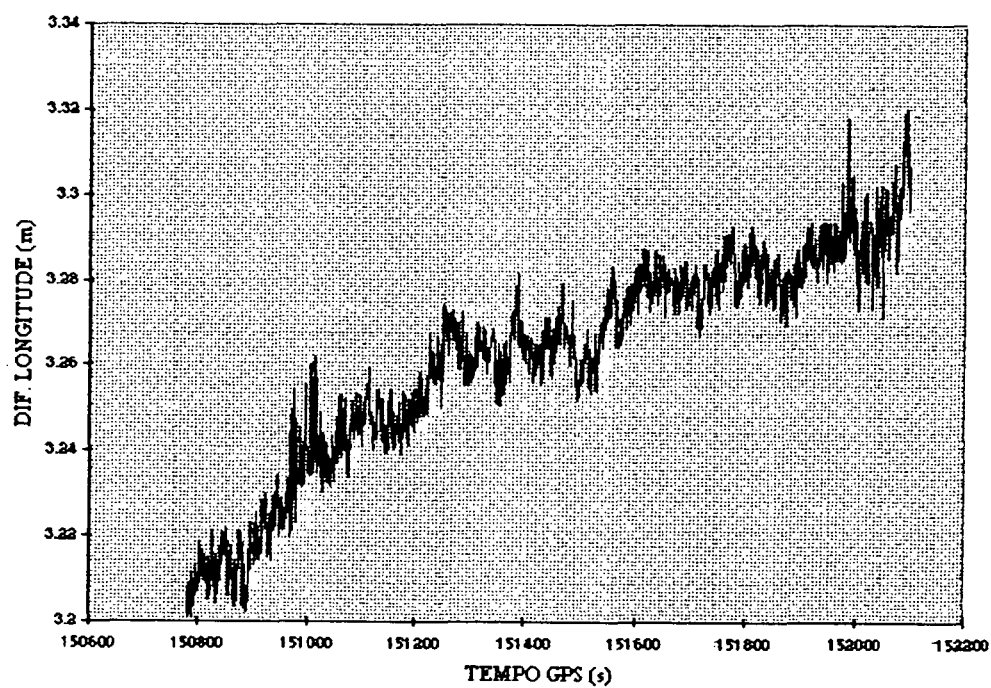
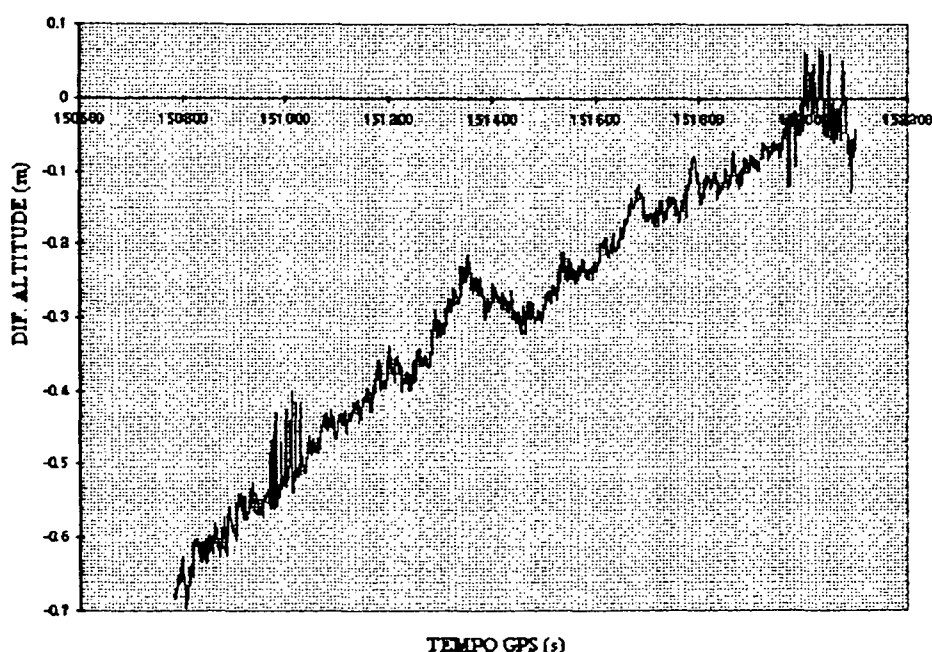
GRÁFICO 72 - $\Delta\phi$ EM FUNÇÃO DO TEMPO (BC2-BL2)GRÁFICO 73 - $\Delta\lambda$ EM FUNÇÃO DO TEMPO (BC2-BL2)

GRÁFICO 74 - Δh EM FUNÇÃO DO TEMPO (BC2-BL2)

Conforme a figura 02 (ver seção 4.3), a precisão para a solução PDGPS é inferior a 1 m. Esse levantamento PDGPS, não apresenta uma precisão satisfatória para as longitudes. Sabe-se que a distância entre as estações de referência e a móvel é de extrema importância na precisão da solução. Na tabela 49, observa-se que a estação PGUA dista da embarcação de aproximadamente 17 km e a estação ECC3 de 92 km. Porém, nesse caso há um grande desnível entre a estação ECC3 e a embarcação, aproximadamente 900 m. Esse fato associado aos efeitos atmosféricos devem estar contribuindo de maneira significativa na precisão da solução PDGPS.

Verificou-se até o presente momento que a introdução de certos parâmetros no processamento dos dados poderá modificar a precisão das soluções. Como o resultado PDGPS, obtido anteriormente não foi satisfatório, realizar-se-á mais algumas investigações a esse respeito.

6.6.3.6 INVESTIGAÇÕES DAS SOLUÇÕES PDGPS OBTIDAS EM 6.6.3.5

Buscando investigar mais a influência de parâmetros na solução PDGPS, realiza-se mais alguns processamentos. Para possibilitar uma boa comparação quanto a precisão das

soluções, mantém-se a solução BC2 da trajetória BC como a melhor. Os dados coletados para a trajetória BL foram processados com o programa GEONAP-K (seção 2.8.1) e utilizou-se diferentes parâmetros e opções permitidos pelo programa. Na tabela 52, estão indicadas as investigações realizadas, bem como os parâmetros envolvidos nos processamentos.

TABELA 52 - DIFERENTES INVESTIGAÇÕES

<i>INVESTIGAÇÃO</i>	<i>PARÂMETROS APLICADOS NA TRAJETÓRIA BL</i>	<i>TRAJETÓRIA BC</i>
1	EFÊMERIDES PRECISAS (EP), FATOR DE ESCALA TROPOSFÉRICO, PARÂMETROS TROPOSFÉRICOS ATUAIS	BC2
2	EP, SEM SATÉLITE 7, PARÂMETROS TROPOSFÉRICOS ATUAIS	BC2
3	EP, SEM SATÉLITE 5, PARÂMETROS TROPOSFÉRICOS ATUAIS	BC2
4	EP, SEM SATÉLITES 5 E 7, PARÂMETROS TROPOSFÉRICOS ATUAIS	BC2
5	EP, PROCESSAMENTO COM L ₁ , PARÂMETROS TROPOSFÉRICOS ATUAIS	BC2
6	EP, CÓDIGO SUAVIZADO PELA PORTADORA, PARÂMETROS TROPOSFÉRICOS ATUAIS	BC2

6.6.3.6.1 1ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA

Essa primeira investigação consiste na análise da precisão para a trajetória BL4 (ECC3/ROVE) com relação a trajetória BC2 (PGUA/ROVE). A primeira, obtida com a utilização das efemérides precisas, aplicando o fator de escala troposférico e com os parâmetros troposféricos atuais (ver tabela 50 e 51), e a segunda, com a utilização das efemérides precisas. A metodologia para a resolução das ambigüidades, em ambos os casos foi a mesma. No gráfico 75, observam-se as diferenças em latitude, entre as trajetórias geradas para as soluções das distintas estações de referências, com a estação móvel. Elas encontram-se compreendidas entre 1,2 m e 1,4 m. As diferenças entre as longitudes, indicadas no gráfico 76, estão entre 1,0 m e 1,6 m; e no, gráfico 77, as diferenças entre as altitudes estão compreendidas entre 1,5 m e 4,5 m.

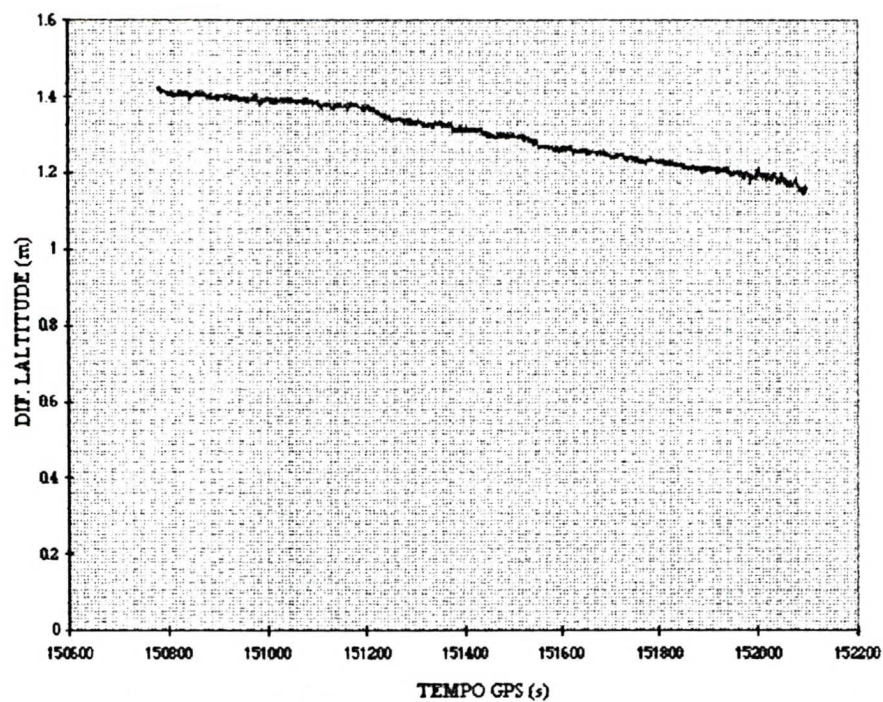
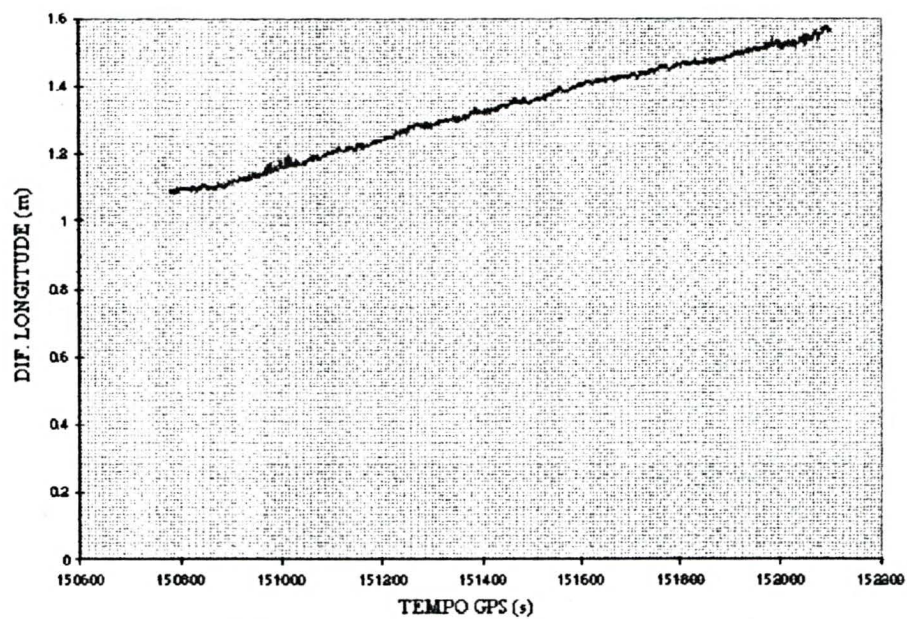
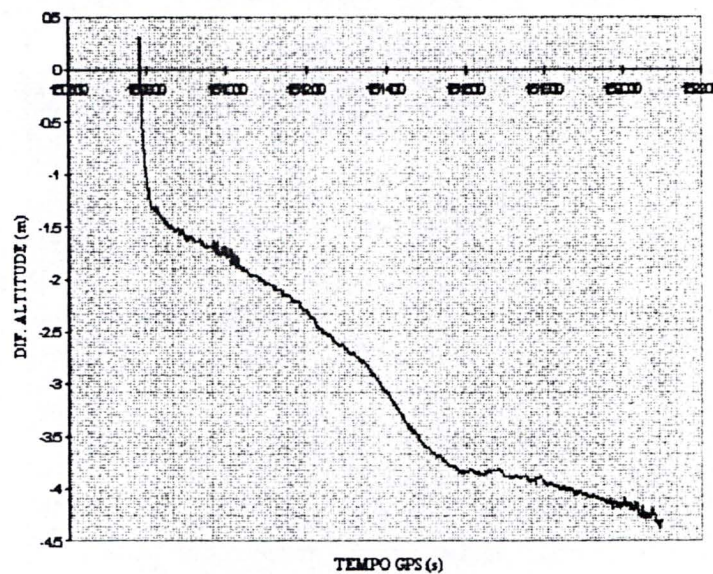
GRÁFICO 75 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LATITUDES (BC2-BL1INV)**GRÁFICO 76 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LONGITUDES (BC2-BL1INV)**

GRÁFICO 77 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS ALTITUDES (BC2-BL1INV)

Do exposto e da análise dos gráficos 72 a 77, constata-se um aumento nas diferenças em latitudes de aproximadamente 75 cm, uma diminuição nas diferenças das longitudes de aproximadamente 1,8 m e um aumento significativo nas diferenças das altitudes, que é crescente com o passar do tempo, chegando a 4,5 m de discrepância. Conforme foi visto na seção 5.5, o modelo troposférico acarreta numa modificação significativa nas altitudes, fator esse comprovado nesses levantamentos.

6.6.3.6.2 2ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA

Nessa nova investigação optou-se pela remoção do satélite 07, que permanece por todo o período do levantamento e apresentou perda de sinal para a estação PGUA, por volta das 18 h 15 m (gráfico 9.1, anexo 09). Esse satélite foi removido da trajetória BL. Nas tabelas 50 a 52, observa-se que nas trajetórias BC2 e BL (2INV) foram utilizadas as efemérides precisas e emprega-se a mesma metodologia para a resolução das ambigüidades.

Os gráficos gerados pelas diferenças entre as soluções (BC2 e BL) apresentam valores significativos para as coordenadas ϕ , λ e h . Para ϕ , as diferenças encontram-se entre -11,1 m a -11,5 m (gráfico 78); para λ (gráfico 79), entre 12 e 9 m e para h (gráfico 80), variam de -4 a -2,8 m. As diferenças obtidas estão além da precisão máxima admitida para

a solução PDGPS (figura 02); verifica-se que a remoção do satélite 07 é inviável e não melhora as precisões da solução..

GRÁFICO 78 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LATITUDES (BC2-BL2INV)

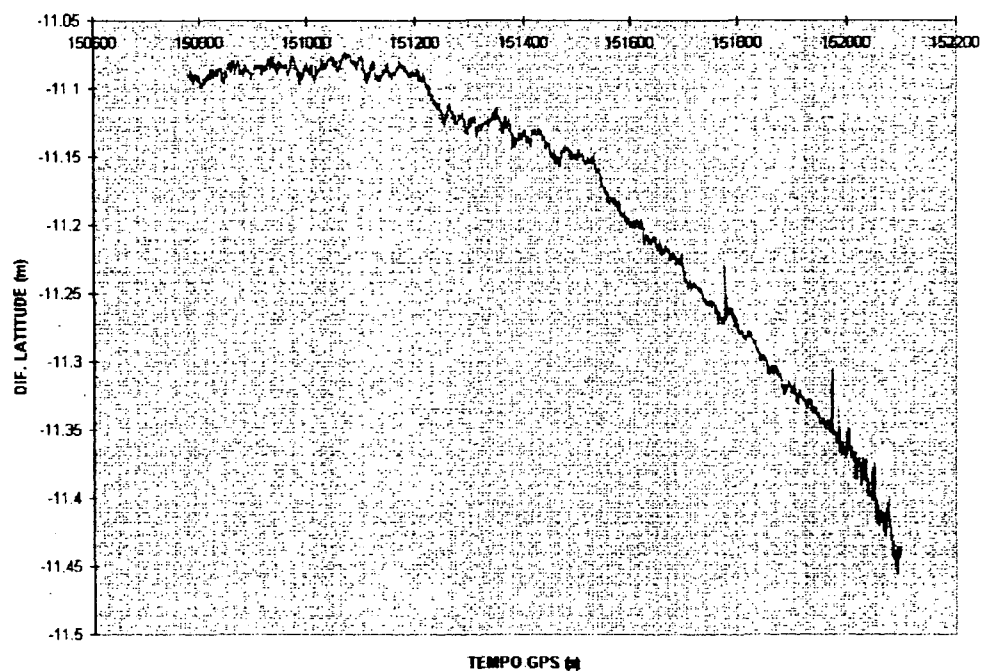


GRÁFICO 79 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LONGITUDES (BC2-BL2INV)

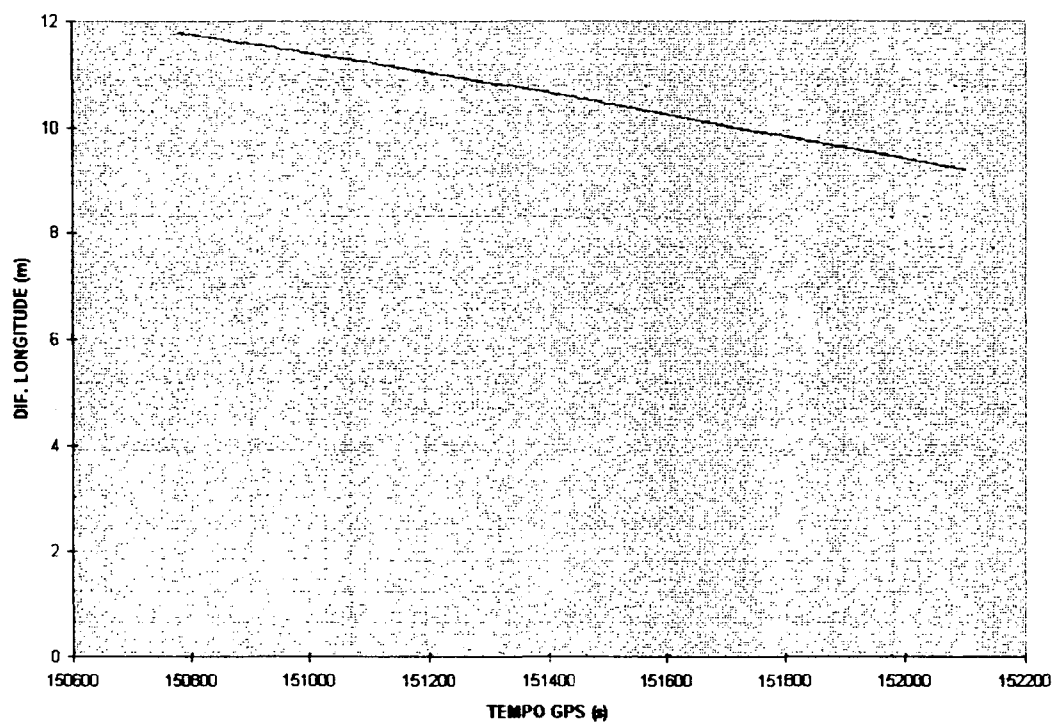
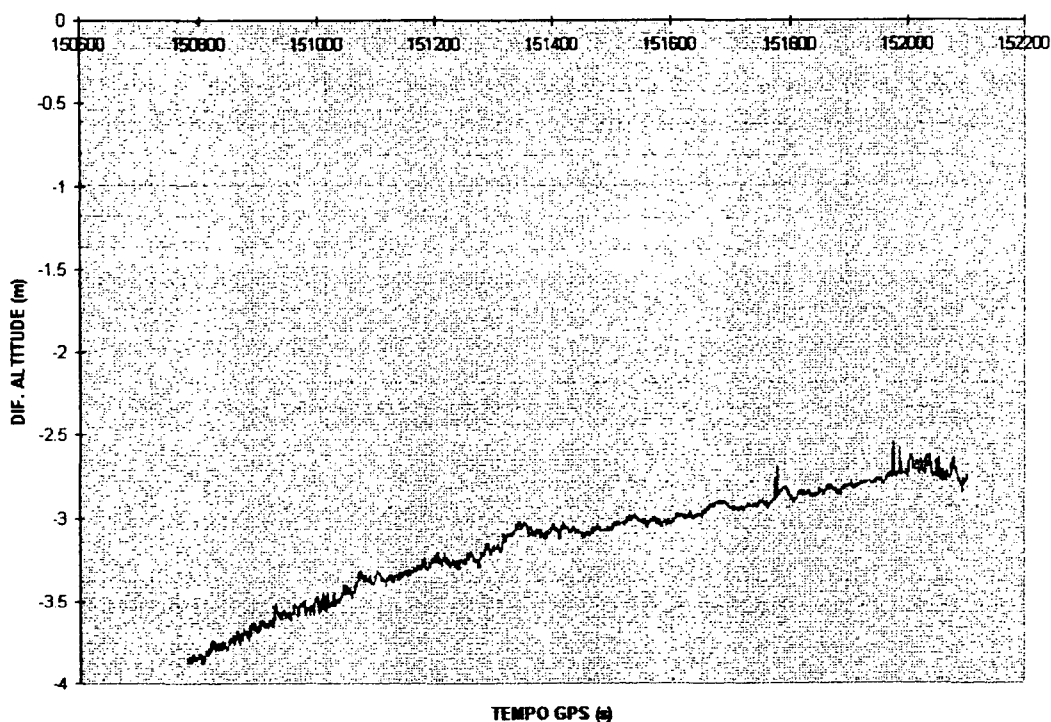


GRÁFICO 80 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS ALTITUDES (BC2-BL2INV)

Comparando-se os gráficos obtidos nessa investigação com os gráficos 72 a 74, as diferenças permanecem da ordem de metros.

6.6.3.6.3 3ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA

Para essa investigação remove-se, da trajetória BL (3INV) o satélite 05, que apresentou leve perda de sinal para a estação ROVE. Ele, está presente por todo o período do levantamento. Foram utilizadas as efemérides precisas para as soluções (BC2 e BL), a mesma metodologia para a resolução das ambigüidades e na solução BL conta-se com os parâmetros troposféricos atuais. Dessa investigação resulta os gráficos 81 (para ϕ), 82 (para λ) e 83 (para h).

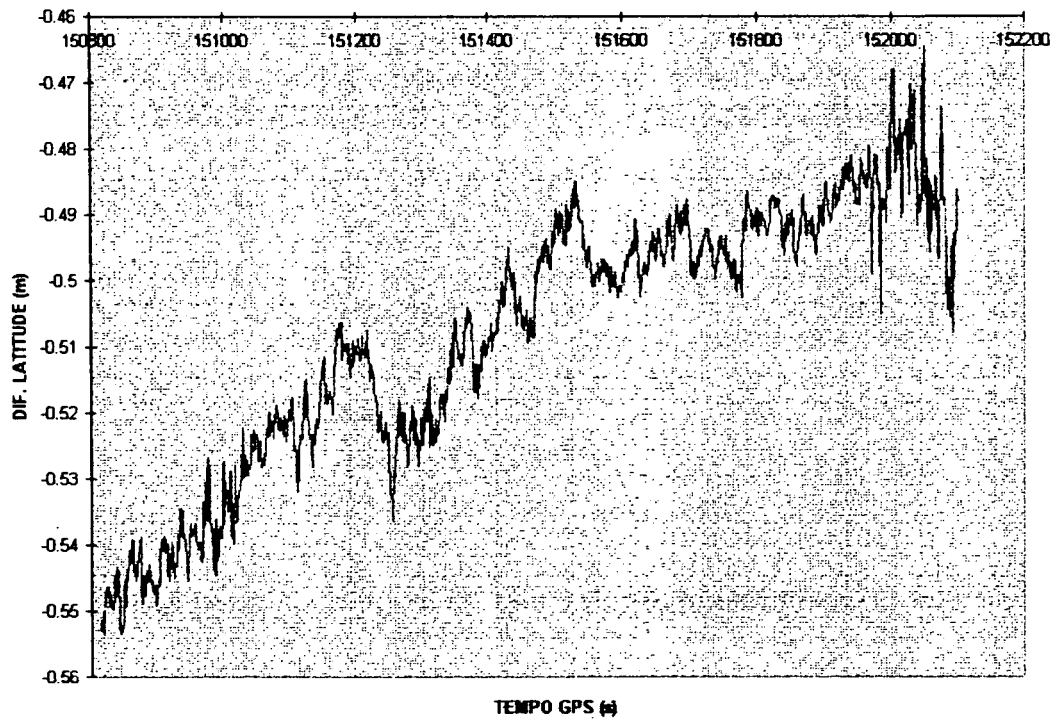
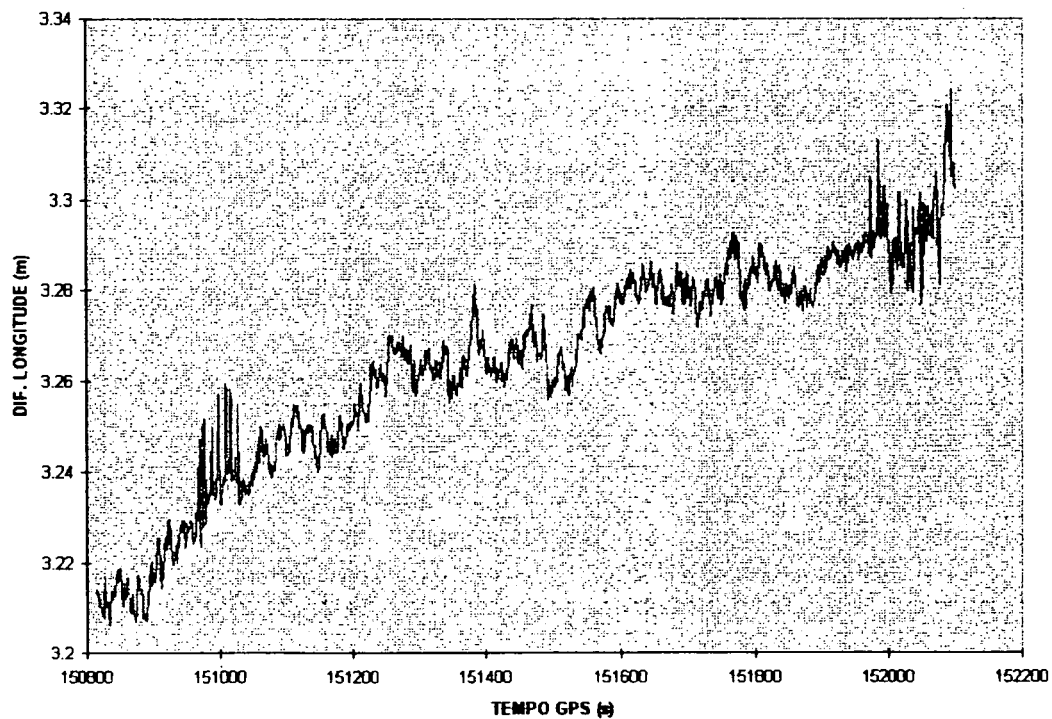
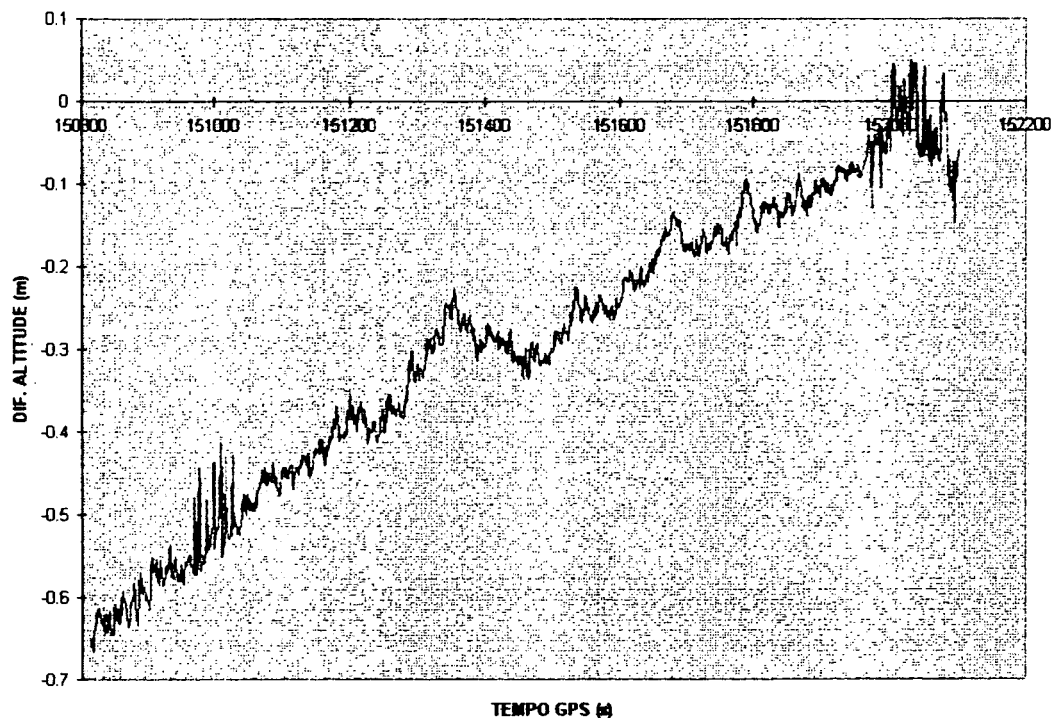
GRÁFICO 81 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LATITUDES (BC2-BL3INV)**GRÁFICO 82 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LONGITUDES (BC2-BL3INV)**

GRÁFICO 83 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS ALTITUDES (BC2-BL3INV)

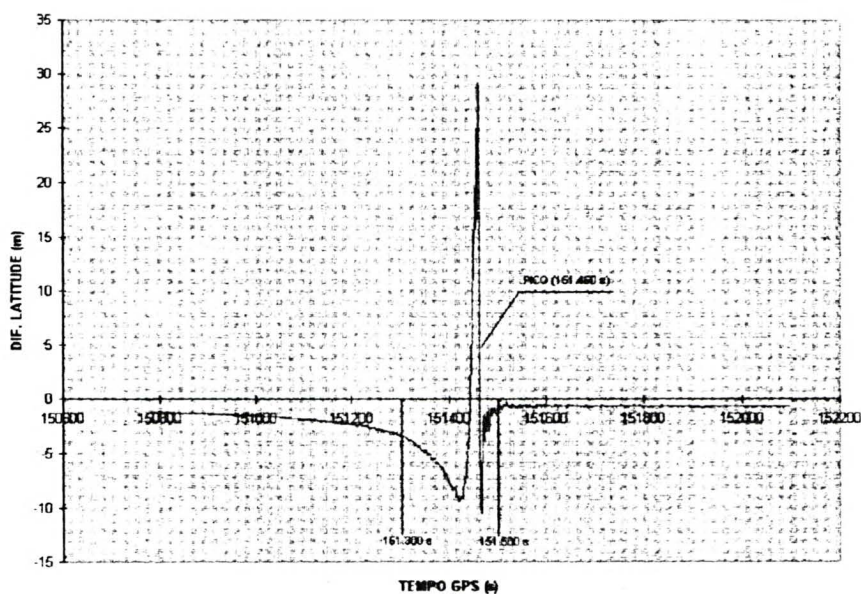
Verifica-se para as latitudes e altitudes diferenças entre as soluções BC2 e BL (3INV) da ordem de centímetros e para as longitudes de metros. Essas diferenças em ϕ e h estão decrescendo com o passar do tempo e para λ , estão crescendo. Quando se compara estes gráficos (81 a 83) com os gráficos 72 a 74, verifica-se que, para as latitudes e longitudes as diferenças são aproximadamente de ± 3 cm e para as altitudes variam de - 10 cm a + 15 cm. Isto indica que a solução BL (3INV) aproxima-se da solução BL2 e que a remoção do satélite 05 não é tão prejudicial aos resultados, quanto o foi a remoção do satélite satélite 07 (6.6.3.6.3).

6.6.3.6.4 4ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA

Ela consiste na análise da precisão para a trajetória BL (4INV) com relação a trajetória BC2. A primeira, obtida com a remoção dos satélites 05 e 07, com a aplicação dos parâmetros troposféricos atuais e com a utilização das efemérides precisas (tabela 52). No gráfico 84, observam-se as diferenças em latitude. Elas, foram em média inferior a 5 m.

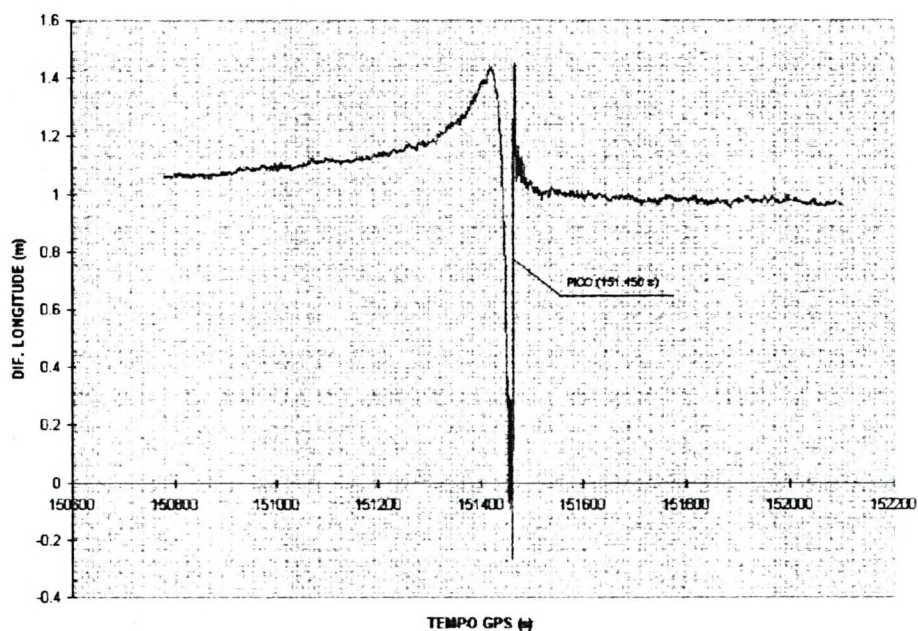
Verifica-se variações maiores entre 151.300 s a 151.500 s, apresentando um pico por volta das 151.450 s GPS (18 h 04 m 40 s), com uma variação da ordem de 37 m.

GRÁFICO 84- DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LATITUDES (BC2-BL4INV)



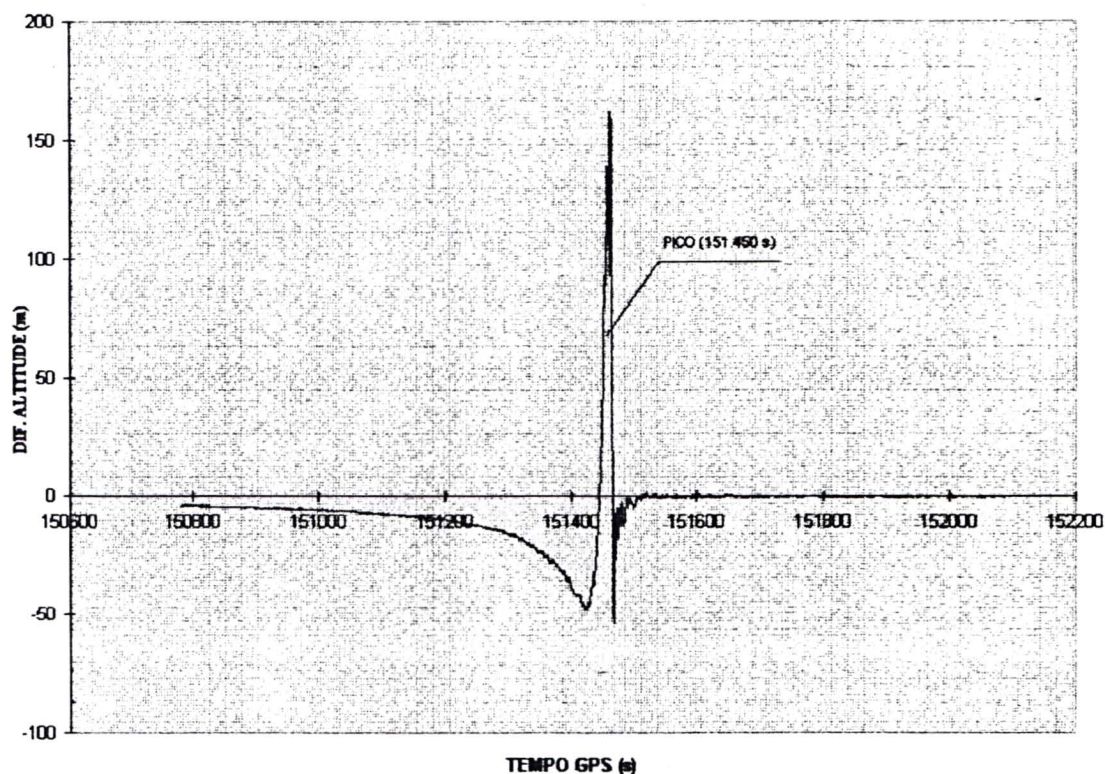
Observam-se as diferenças em longitude no gráfico 85,. Elas, foram em média inferior a 1,1 m. Apresentando um pico por volta das 151.450 s GPS (18 h 04 m 40 s), com diferenças da ordem de 1,8 m.

GRÁFICO 85 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LONGITUDES (BC2-BL4INV)



As diferenças em altitude (gráfico 86), foram em média inferior a -5,0 m. No pico, por volta das 151.450 s GPS (18 h 04 m 40 s), as diferenças encontram-se entre -50 m a 150 m.

GRÁFICO 86 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS ALTITUDES (BC2-BL4INV)



Com a remoção dos satélites 05 e 07, conta-se apenas com apenas 4 satélites durante o levantamento. Esse pico de variação decorre, provavelmente, uma má disposição dos satélites, nesse período de observação, gerando posições inadequadas para a trajetória descrita pela embarcação. Observou-se, no arquivo das coordenadas pós-processadas pelo programa GEONAP-K uma elevação nos desvios padrão, indicando a má qualidade das coordenadas para esse período. Mediante essas análises, constata-se que solução BL, dessa investigação, não é satisfatória.

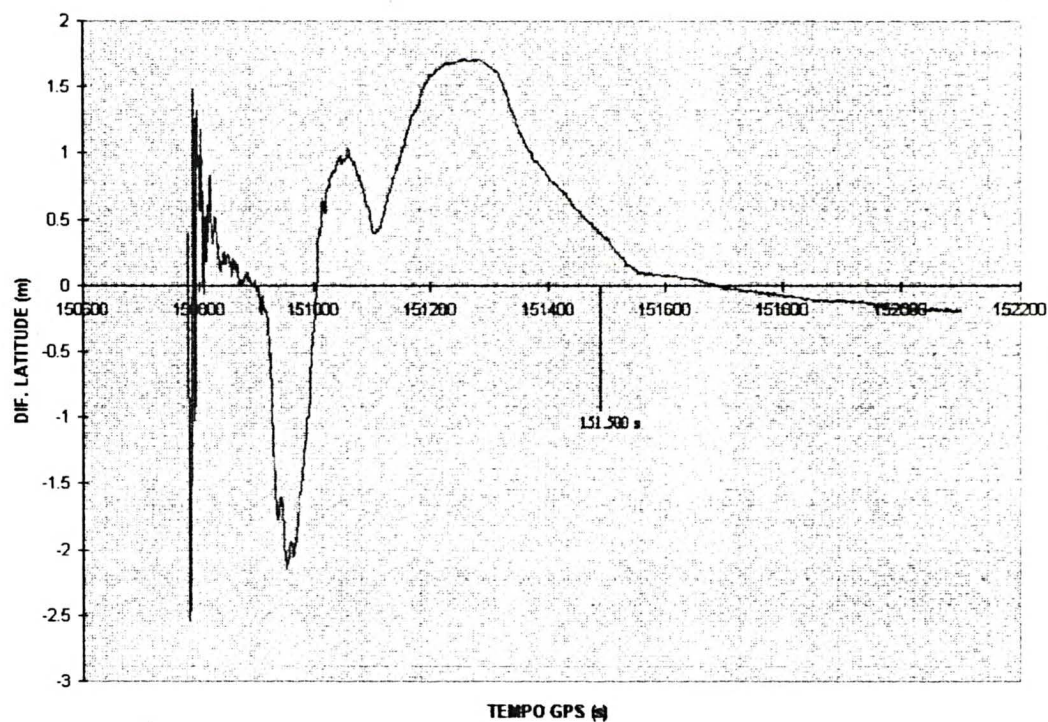
6.6.3.6.5 5ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA

A resolução das ambigüidades nessa trajetória BL (5INV) foi realizada com a utilização da portadora L_1 , empregou-se os parâmetros troposféricos atuais e as efemérides

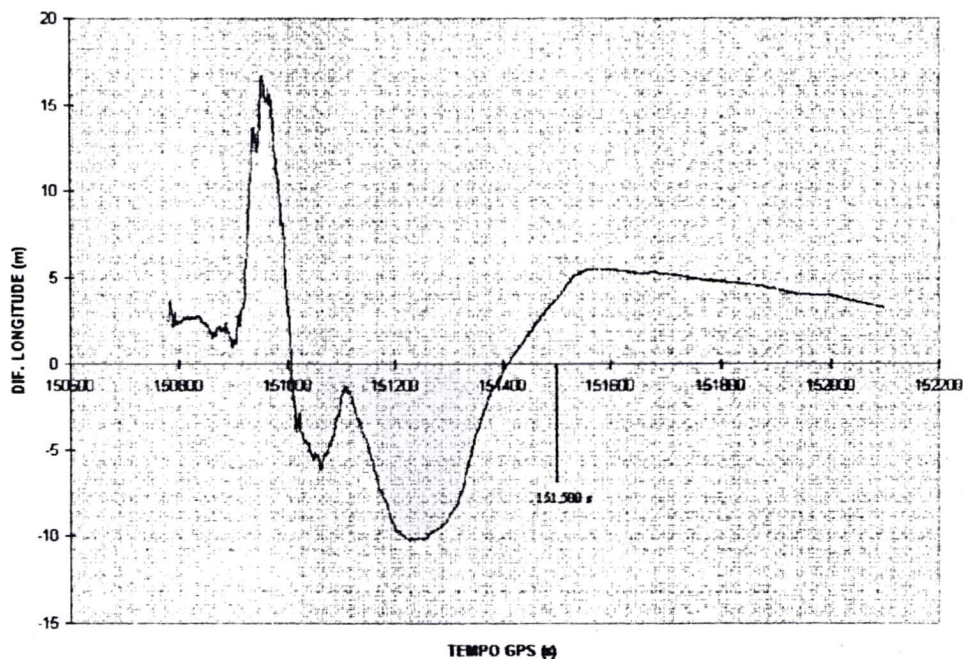
precisas (tabela 52). Utilizou-se a trajetória BC2 como parâmetro de comparação para a BL, indicando a precisão alcançada com esse processamento. Obtiveram-se os gráficos 87, 88 e 89 para as diferenças em ϕ , λ e h , respectivamente.

As diferenças em latitudes, encontram-se entre -2,2 m a 1,7 m e podem ser observadas no gráfico 87. Verifica-se, que após o tempo GPS 151.500 s as diferenças são inferiores a 50 cm.

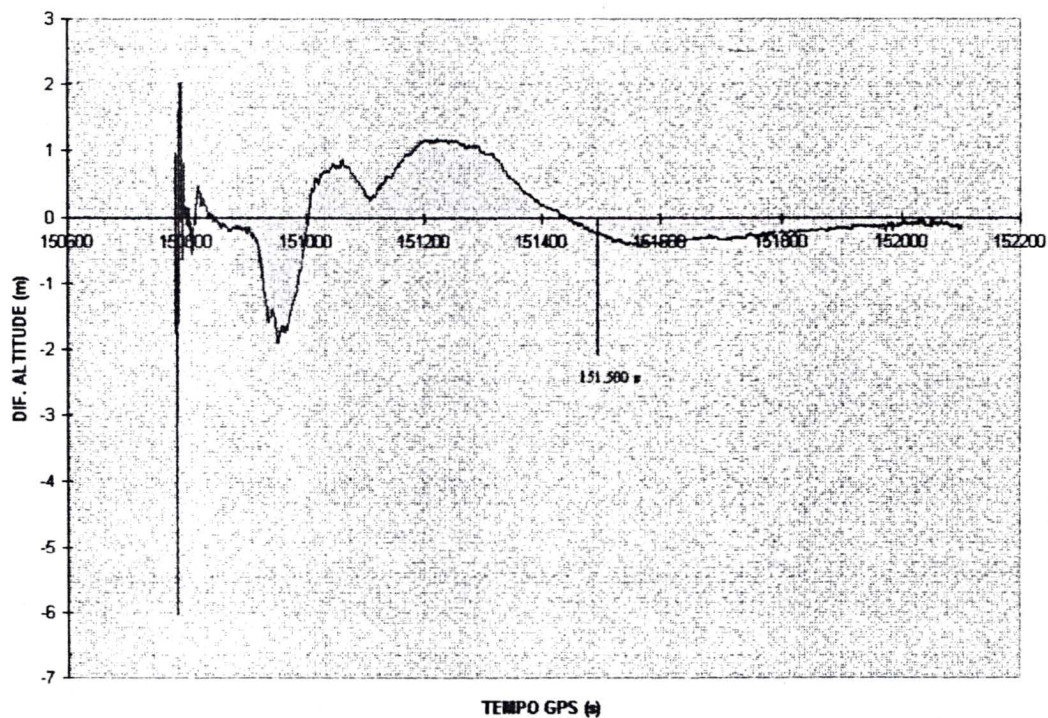
GRÁFICO 87 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LATITUDES (BC2-BL5INV)



Para as longitudes (gráfico 88), as diferenças foram significativas e se encontram entre 17 m e -10 m. Verifica-se, que após o tempo GPS 151.500 s as diferenças são inferiores a 5 m. Valores esses não satisfatórios para o PDGPS.

GRÁFICO 88 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LONGITUDES (BC2-BL5INV)

No gráfico 89, podem ser observadas as diferenças em altitudes entre as soluções BC2 e BL (5INV). Elas, encontram-se entre 1,0 e -2,0 m e após o tempo GPS 151.500 s são diferenças inferiores a 1 m.

GRÁFICO 89 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS ALTITUDES (BC2-BL5INV)

Pela análise das diferenças obtidas para as coordenadas ϕ , λ , e h constata-se que a precisão alcançada para a trajetória BL não é satisfatória na solução PDGPS.

6.6.3.6.6 6ª INVESTIGAÇÃO DA TRAJETÓRIA

Essa investigação analisa a precisão para a trajetória BL (6INV) com relação a trajetória BC2. A primeira, foi obtida com as efemérides precisas, com os parâmetros troposféricos atuais e com a observação dos códigos suavizados pelas portadoras (tabela 52). As diferenças obtidas para as coordenadas ϕ , λ , e h , foram da ordem de metros. Para ϕ (gráfico 90), elas encontram-se entre 2,5 m a -0,3 m; para λ (gráfico 91) estão entre -20 m a 2 m e para as altitudes (gráfico 92) são inferiores a 2,5m. Esses resultados também não são satisfatórios para a solução PDGPS, porém após o tempo 151.100 s verifica-se uma sensível redução das diferenças. Para ϕ e para h , as diferenças são inferiores a 30 cm e para as longitudes 1,5 m.

GRÁFICO 90 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LATITUDES (BC2-BL6INV)

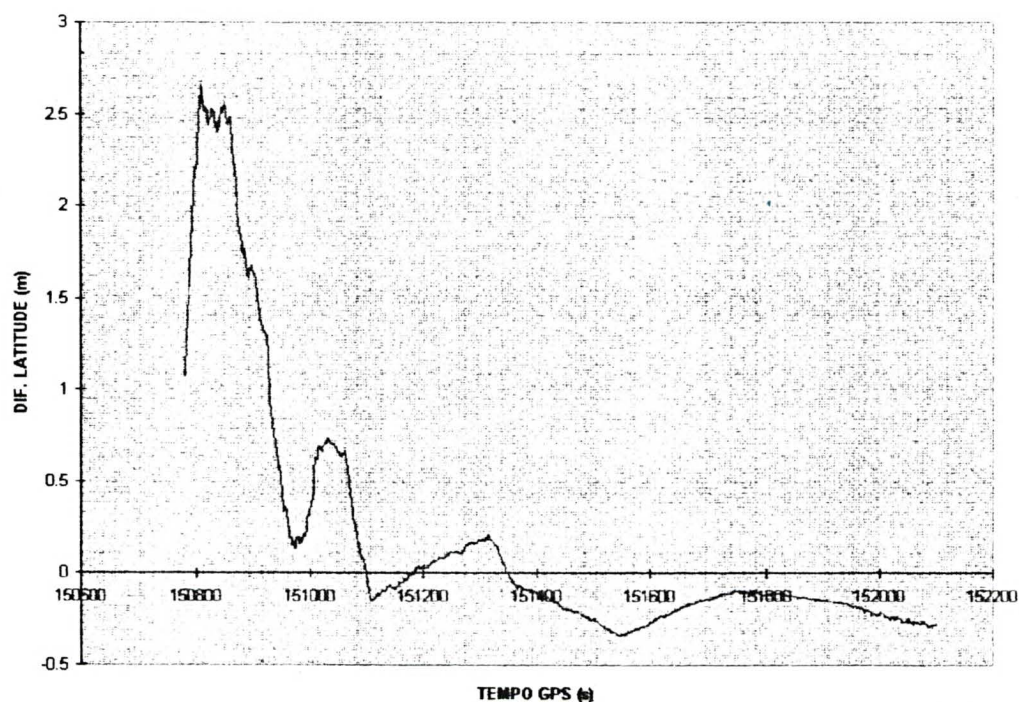
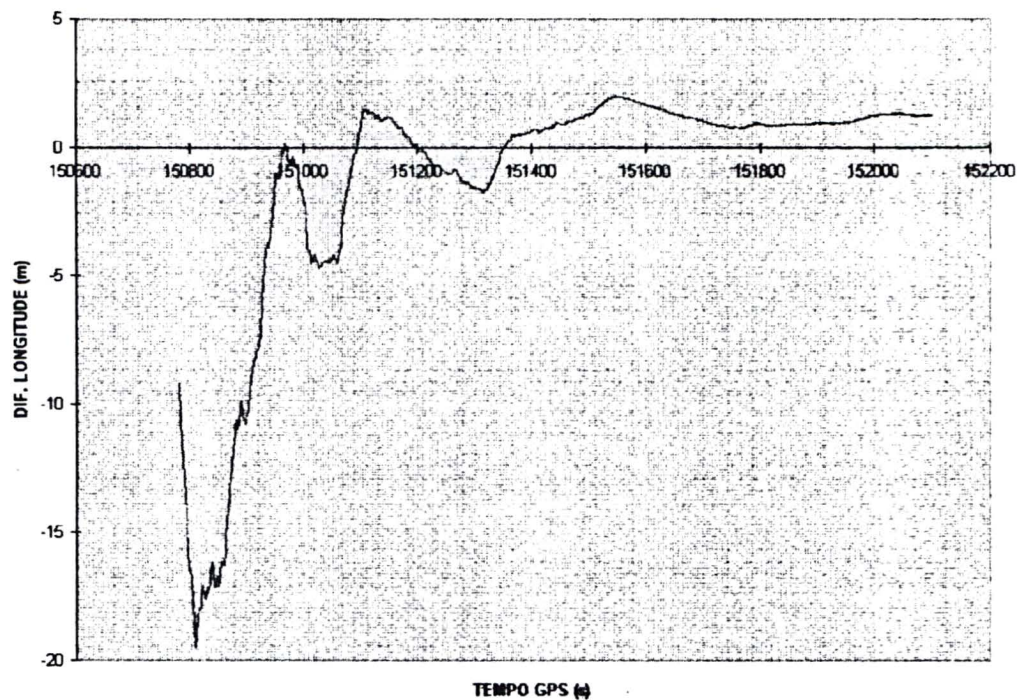
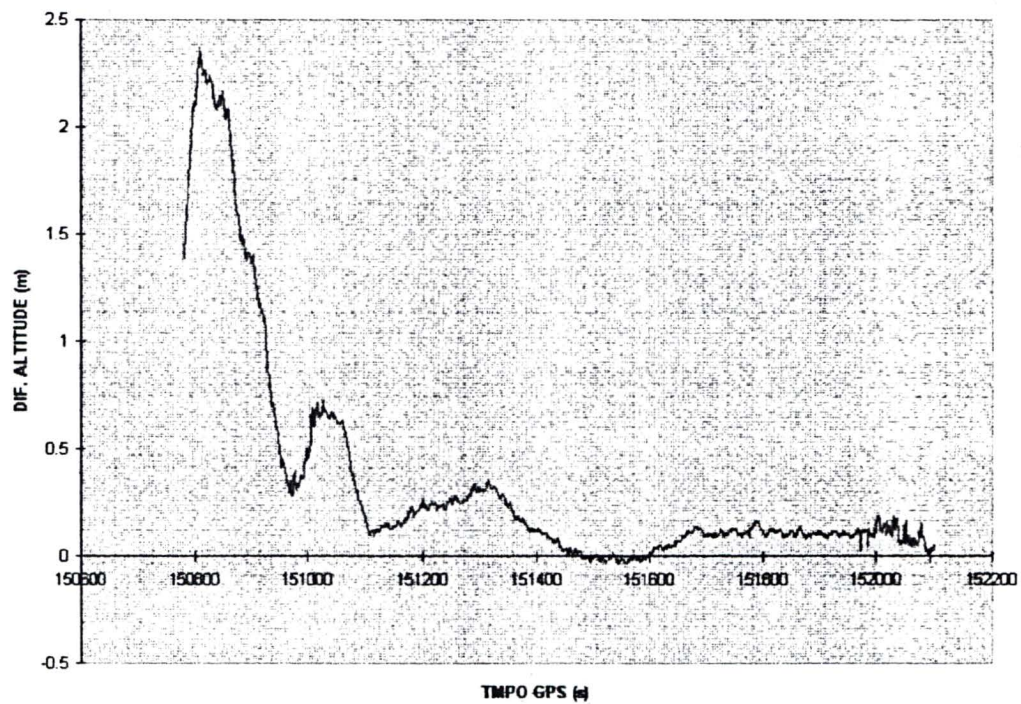


GRÁFICO 91 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LONGITUDES (BC2-BL6INV)**GRÁFICO 92 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS ALTITUDES (BC2-BL6INV)**

Com a realização dessas investigações, constata-se que a introdução do fator de escala troposférico (t) acarreta numa redução para as diferenças em longitudes, porém eleva as diferenças em latitudes e principalmente em altitudes.

A remoção de satélites pode ser prejudicial à solução, como foi o caso quando da remoção do satélite 07. Contudo, tal fato não ocorreu com a remoção do satélite 05. Verifica-se que com 4 satélites é possível de se obter uma solução para a trajetória, porém há uma degradação da posição com o passar do tempo. Essas investigações, mostram claramente a necessidade de uma boa avaliação antes da remoção de um satélite, presente no levantamento.

As soluções obtidas com a utilização da portadora L_1 para a resolução das ambigüidades e com o emprego do código alisado pela portadora, não foram satisfatórias para a precisão requerida pelo PDGPS. As coordenadas das longitudes são as mais afetadas no processamento.

Na tabela 46, observa-se que as diferenças (da ordem de centímetros a metro), para os diferentes processamentos da linha de base, também são mais acentuadas para as longitudes do que para as latitudes.

6.7 ANÁLISES

Verificou-se que os trabalhos desenvolvidos na região do Balneário do Pontal do Paraná são de extrema importância em face da falta de dados pretéritos na região. Esses levantamentos estáticos e cinemáticos, servirão de subsídios para futuros estudos e pesquisas a serem realizados na área.

O sistema GPS é um método excelente na detecção das variações da linha de costa em virtude da sua praticabilidade e da precisão por ele alcançada. Métodos, como a comparação de fotografias aéreas de diferentes datas; medições periódicas com teodolito ou nível de precisão; e imagens de satélites, podem também proporcionar precisões iguais ou até mesmo superiores às obtidas pelo GPS. Porém, o primeiro e terceiro métodos apresentam a desvantagem de custos mais elevados; no segundo caso, o tempo e a mão-de-obra requeridos para a execução dos levantamentos são superiores aos que seriam necessário para o sistema GPS. Dessa forma, é necessário manter cadastros atualizados das regiões sujeitas a significativas variações da linha de costa (progradação e recuo), os quais sirvam como subsídio às ações de controle de erosão. Não deixando de levar em conta a relação custo/benefício,

podem-se indicar os levantamentos cinemáticos com o GPS como a solução mais viável. As perdas de sinais ocorridas durante o caminharmento devem ser observadas e recuperadas, elevando-se dessa forma a precisão para o levantamento. Atualmente, com o emprego de programas como o GNRT (seção 2.8.4), é possível de se obter esse levantamento em tempo real com a precisão almejada pelo PDGPS. Pode-se monitorar as perdas de sinais e recuperá-las, em tempo real.

O sistema DGPS tem mostrado a sua eficiência nos levantamentos hidrográficos. A utilização do DGPS para posicionar a embarcação associado ao ecobatímetro para a determinação das profundidades, tem sido amplamente empregado no ambiente marinho brasileiro. Para a área em estudo, utilizou-se esse sistema, realizando-se alguns testes quanto a precisão por ele alcançada e a metodologia. Com o levantamento dos perfis longitudinais e transversais nessa área, verificou-se que na maioria dos pontos de interseção a precisão alcançada na determinação das profundidades foi inferior a 30 cm, que é a exigida pela IHO. A melhoria dessa precisão está ligada diretamente ao monitoramento dos movimentos da embarcação (rolamento, arfagem e guinada). (seção 4). O erro proveniente desse efeito pode chegar a 6 cm, para a velocidade da embarcação empregada nesses levantamentos e pela altura da antena instalada a bordo dela. Também, ter-se-á o erro proveniente do deslocamento vertical da embarcação que pode chegar a 40 cm, para as presentes condições. Acredita-se, que com o perfeito monitoramento desses efeitos alcançar-se-ia uma precisão superior às preconizadas pela Organização Internacional de Hidrografia (OHI), para todo o levantamento.

O erro de sincronismo, também esteve presente nesse levantamento. Verificou-se que as informações provenientes do GPS e as do ecobatímetro apresentavam um atraso de 0,10 s. Fato esse, que impossibilita um sincronismo direto. Esse sincronismo foi conseguido no pós-processamento dos dados, através de interpolações. Para as condições desse levantamento (velocidade da embarcação de aproximadamente 2,4 m/s) pode-se obter em tempo real um erro da ordem de até 40 cm, em função dessa falta de sincronismo entre os sistemas.

Verificou-se que a utilização de um programa hidrográfico quando se utiliza o sistema DGPS para posicionar o barco, aliando-se esse as determinações das profundidades com o ecobatímetro é de grande valia. O levantamento das linhas de sondagem pode ser realizado de acordo com o planejado; com o auxílio de um computador a bordo, e é de simples execução. Verificou-se que a possibilidade de repetir linhas de sondagem e a comparação de dados coletados em épocas diferentes são beneficiados quando da utilização desse programa.

Através do processamento das linhas de base para os pontos locados ao longo da costa foi possível se verificar, que quando do emprego do fator de escala troposférico há uma elevação nos desvios padrão (tabela 27, 30, 32 e 34) e nas diferenças (tabela 26) obtidas para as coordenadas, entre os diversos processamentos realizados. A maior influência desse fator, verifica-se nas altitudes e constata-se uma fraqueza no sistema proveniente da introdução desse fator.

A partir da análise da solução obtida para a base curta (PGUA, ROVE) com o programa GEONAP-K, constata-se que a precisão para a solução PDGPS está dentro da precisão indicada para os levantamentos cinemáticos (figura 02). Demonstra ser uma solução confiável, sendo empregada como parâmetro de comparação para a análise da precisão obtida com o processamento da base longa (ECC3, ROVE).

A base longa (ECC3, ROVE) não apresenta uma solução PDGPS satisfatória, ou seja, encontra-se fora dos limites indicados na figura 02. Isso, provavelmente, decorre do fato de que uma estação de referência situar-se a uma altitude de aproximadamente 18 m, e a outra, aproximadamente 924 m, e pelo fato de que elas distam da estação móvel em torno de 16 km e de 90 km, respectivamente.

A comparação do posicionamento do barco no levantamento na Ponta do Poço para as estações de referência, situadas a diferentes distâncias, não foi satisfatória.

Com as investigações realizadas para as soluções, levantamento no Pontal do Paraná, no que concerne ao fator de escala troposférico, conclui-se que esse atua de forma representativa na base longa (BL), o que não acontece para a base curta (BC). As diferenças entre as latitudes, longitudes e altitudes sofreram significativas alterações, quando da introdução desse fator. No caso da base longa, além da distância que as separa, há o desnível entre as estações; logo, os efeitos atmosféricos tendem a ser distintos. Os parâmetros troposféricos atuais foram pouco significativos nas soluções geradas pelas bases (BC e BL). Verifica-se, que a sua aplicação associada ao fator de escala troposférico acarreta em uma minimização dos valores dos desvios padrão, indicando dessa forma a viabilidade em se aplicar esses parâmetros simultaneamente.

O emprego das efemérides precisas no processamento dos dados demonstra não acarretar em erros tão significativos nas soluções. Comparando-se as soluções com o emprego dessas efemérides com o das efemérides transmitidas, verificou-se diferenças da ordem de

centímetros. Porém, com a sua utilização no pós-processamento dos dados elimina-se os efeitos provenientes da órbita.

Com as investigações realizadas nessa seção constata-se que nem sempre a remoção de um satélite é viável. Cabe realizar-se, a priori, uma análise das conseqüências dessa remoção.

A investigação utilizando-se a suavização do código pela portadora apresenta diferenças menores entre a solução de base longa (BL) com a solução de base curta padrão (BC), após o tempo 151.100 s GPS. Elas são as almejadas no DGPS. Com o passar do tempo verifica-se que essas diferenças diminuem, alcançando-se a precisão desejada para o PDGPS.

Verificou-se que as perturbações ionosféricas durante esses levantamentos foram pouco significativas, o que contribui para se afirma, de forma mais segura, que a principal causa das diferenças geradas entre as soluções para a base longa (ECC3/ROVE) decorre da atuação dos efeitos troposféricos e da diferença de altitude entre as estações.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

CONCLUSÕES

O objetivo principal dessa tese consistiu na investigação de alta precisão com o sistema GPS no âmbito marinho e também desenvolver um levantamento geodésico na área compreendida entre a Ponta de Embarque para a Ilha do Mel e a Ponta do Poço. O primeiro foi alcançado em duas áreas distintas: Mar do Norte e Ponta do Poço; o segundo na Ponta do Poço, Balneário de Pontal do Sul, município de Pontal do Paraná. Na área de levantamento no Brasil, procurou-se aplicar e adaptar os conhecimentos adquiridos na Alemanha.

Após o processamento dos dados, coletados nas distintas áreas, constatou-se precisões, para as bases curtas, inferiores as preconizadas para o PDGPS, melhores que 10 cm. No caso das bases longas verificou-se a possibilidade de se alcançar também precisões satisfatórias. Nestes casos, as efemérides precisas e um programa GPS científico desempenham um papel importante. Também é necessário a utilização de receptores de dupla frequência, com a possibilidade de observação do completo comprimento da onda L_2 .

Para as bases curtas a introdução do fator de escala troposférico não se faz necessário e é preferível evitá-lo. A causa consiste no fato de que as condições troposféricas para estações próximas são praticamente iguais e quando da sua utilização, os desvios padrão aumentam e há um enfraquecimento no sistema.

Com as investigações de alta precisão para as bases longa das soluções PDGPS, constatou-se que a sua precisão está diretamente ligada as condições ambientais das estações. Na base longa, do Mar do Norte, na qual a estação móvel dista da estação de referência de aproximadamente 235 km, verificou-se que a introdução do fator de escala troposférico apresentou uma contribuição satisfatória na solução, a menos de um certo intervalo de tempo (representando 25 % da trajetória descrita). Nesse, a introdução do fator associado a uma fraqueza que o sistema momentaneamente apresentou, acarretou em diferenças maiores. A fraqueza do sistema foi observada mediante a análise dos desvios padrão. Contudo, elas são da ordem de centímetros, não significativas para os levantamentos no âmbito marinho. Verifica-se que as altitudes são as que mais sofrem alterações com a introdução desse fator. As estações nessa região não apresentam grandes variações de altitude. Na base longa do levantamento realizado na Ponta do Poço a solução não foi satisfatória. A causa, consiste no fato de que as

duas estações distam entre si de aproximadamente 90 km e ainda há um desnível de aproximadamente 920 m entre elas. Para casos onde há uma grande diferença de altitude faz-se necessário calcular a influência dos erros troposféricos de forma rigorosa. Isto significa, a necessidade de se utilizar um programa científico com uma modelagem troposférica adequada para as condições ambientais.

Com a realização de algumas investigações constatou-se que com a remoção de satélites as conseqüências nas soluções podem ser as mais diversas possíveis. Obteve-se variações de centímetros a metros. Com isso, conclui-se que nem sempre a desativação de um satélite é uma solução viável. Cabe, realizar-se um estudo a priori.

Verificou-se também que a resolução das ambigüidades com a portadora L1 pode conduzir a resultados satisfatórios para o PDGPS. Contudo, em termos de Brasil, tal fato não foi verificado. A presença das duas portadoras contribuirá para a modelagem troposférica, minimizando os erros inerentes ao sistema, em face da longa distância que separa as estações analisadas (MSD8/ASBM e ECC3/ROVE). Com a atuação dessas portadoras, ter-se-á maiores possibilidades de resolução das ambigüidade.

A possibilidade de se alcançar alta precisão no âmbito marinho é atraente, por exemplo, na obtenção de pontos de controle no relevo marinho, na geodinâmica, na observação das marés, monitoramento de plataformas, bóias e no monitoramento de assoramentos e da erosão.

Em face, da urgente necessidade em obter dados pretéritos na região do Balneário de Pontal do Sul, os pontos de apoio implantados nessa área foram rastreados apenas como linhas de base. A causa consiste na falta de maior número de receptores geodésicos no período da observação. Planeja-se para o futuro, a reocupação desses pontos e o rastreio simultâneo com pelo menos mais dois pontos de coordenadas conhecidas (pontos pertencentes a RBMC). Os diversos processamentos realizados indicam que a atuação do fator de escala troposférico é mais significativa para as altitudes. Com a sua aplicação, também observou-se uma elevação dos desvios padrão, indicando a fraqueza do sistema quando de sua utilização, e uma elevação nas diferenças, contudo de ordem centimétrica sendo não significativas para os levantamentos no âmbito marinho.

O levantamento da linha de costa com o GPS mostrou ser um método prático e viável. As discrepâncias obtidas com o pós-processamento dos dados foi, ao longo da trajetória, superior a 6 cm; em um pequeno trecho foi inferior a 1 m. Tal fato decorre dos obstáculos presentes, durante o levantamento, acarretando perdas de sinal. Isso pode ser contornado com

a realização dos levantamentos nos períodos que apresentem o maior número de satélites possível. A utilização de receptores geodésicos e um programa científico para o pós-processamento dos dados também contribui para a qualidade dos resultados. Com esses levantamentos pode-se manter-se cadastros atualizados da área, auxiliando no monitoramento da erosão e progradação da linha de costa.

O levantamento das linhas de sondagem na área compreendida entre a Ponta de Embarque para a Ilha do Mel e a Ponta do Poço foi simplificado com a utilização de um programa hidrográfico. A precisão obtida nos levantamentos, em sua maioria, atendeu as especificações da Organização Internacional de Hidrografia. Contudo, detectou-se a necessidade de equipamentos para o monitoramento dos movimentos da embarcação, que minimizarão os erros inerentes a eles. Dessa forma atender-se-á de forma plena a precisão almejada pela OHI. Verificou-se a facilidade no manuseio dos equipamentos e a possibilidade futura de repetir as linhas de sondagem. Constata-se, que o tempo de sincronismo é de extrema importância, ele pode acarretar em erros significativos para os levantamentos. O ideal é se obter um sincronismo direto, mas essa é uma questão que a níveis internacionais está em investigações, eles buscam obter o menor tempo de sincronismo entre os sistemas, minimizando os erros provenientes dele. Instalou-se a antena centrada em relação ao transdutor com o objetivo de minimizar os erros de posicionamento provenientes do ângulo de inclinação da embarcação. Fato esse, que colaborou na precisão alcançada com esse sistema.

Na área da Ponta do Poço é grande a dinâmica do meio ambiente, cujos componentes estão sendo continuamente alterados, consumidos e reconstruídos. Com a utilização do sistema de posicionamento global obtêm-se informações que servirão de referência para todos os projetos a serem desenvolvidos na área, bem como, no auxílio às decisões quanto ao meio ambiente. A utilização desse sistema com precisão é uma componente eficaz para apoiar um sistema marinho de informações geográficas. Com a utilização de programas como o GNRT e observações da fase da portadora, é possível alcançar precisões decimétricas nos levantamentos.

Acredita-se que com esse trabalho foi possível transferir conhecimentos e tecnologia de ponta, adquiridos junto ao IFE (Alemanha), para o nosso país. Esses conhecimentos, puderam ser aplicados com êxito, apesar é claro de algumas dificuldades aqui encontradas. Porém, este trabalho descortina novos horizontes e perspectivas para os levantamentos futuros a serem realizados no ambiente marinho.

RECOMENDAÇÕES

A escolha adequada do local para a implantação da estação de referência é de fundamental importância, pois, quanto mais próxima da estação móvel, maior será a precisão obtida no posicionamento da embarcação, visto que as correções recebidas por esta serão mais significativas.

Na região do Balneário de Pontal do Sul, deve-se implantar uma estação de referência próxima à área do levantamento. Se for necessário implantar uma estação de referência em Curitiba, será também necessário aplicar um modelo troposférico condizente com a realidade da região.

Deve-se monitorar constantemente as variações da linha de costa sujeita a erosão e/ou progradação, fato que contribui para o desenvolvimento de planos estratégicos de controle dessas áreas.

É preciso efetuar levantamentos das linhas de costa numa janela de observação com o maior número de satélites possível, ao horário de maré-baixa.

Com a descrição do item 3.4.2, constata-se que o desenvolvimento da RTCM++ é de extrema valia para os usuários; espera-se também que o Comitê Especial 104 possa analisar essa questão e aperfeiçoar a versão 2.1, possibilitando ao usuário um erro de posicionamento menor e uma taxa de transmissão que possa ser aceita por um maior número de frequências, como é o caso da RTCM++.

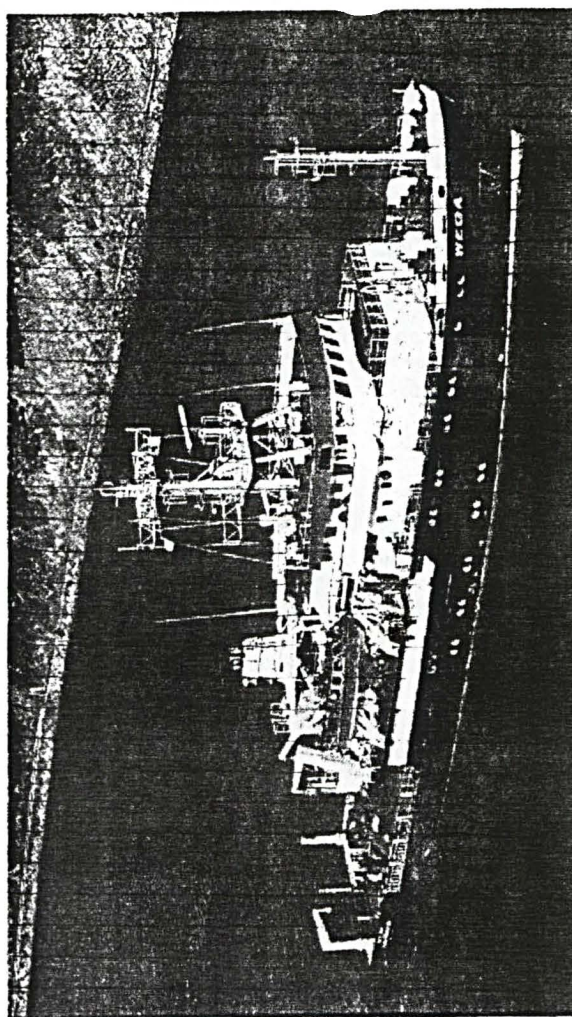
Efetuar levantamentos batimétricos, monitorando os movimentos da embarcação e o deslocamento vertical, principalmente quando da utilização do GPS para o posicionamento bidimensional da embarcação. Dessa forma, minimizar-se-á os erros inerentes a esses movimentos.

Quando da utilização de um programa hidrográfico, verificar o tempo de sincronismo entre os sistemas utilizados no levantamento. Esse é um fator de extrema importância para se alcançar a precisão indicada pela OHL.

No pós-processamento dos dados GPS, a eliminação de satélites deve ser analisada cuidadosamente.

ANEXO 01 - EMBARCAÇÃO WEGA

VERMESSUNGS-
WRACKSUCH- UND
FORSCHUNGSSCHIFF
„WEGA“



Bundesamt
für Seeschifffahrt und Hydrographie
Bernhard-Nocht-Straße 78
2000 Hamburg 36



VERMESSUNGS-, WRACKSUCH- UND FORSCHUNGSSCHIFF »WEGA« DBBC

Das Vermessungs-, Wracksuch- und Forschungsschiff WEGA wurde 1989/1990 bei der Kröger-Werft in Rendsburg gebaut, am 2. März 1990 von Frau Birgit Zimmermann, der Gattin des ehemaligen Bundesministers für Verkehr, getauft und am 26. Oktober 1990 in Dienst gestellt. Die WEGA ist ein Schwesterschiff der bereits 1987 in Dienst gestellten ATAJR. Die Baukosten betrugen ca. 36 Mio. DM. Reeder ist das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH). WEGA hat 16 Mann Besatzung und bietet Unterkunft für 7 Wissenschaftler und Techniker.

Aufgaben:

Seevermessung und Wracksuche im Bereich des deutschen Festlandssockels in Nord- und Ostsee;
Baumusterprüfung nautisch-technischer Anlagen;
Ozeanographische Untersuchungen;
Überwachungsarbeiten über das chemische und physikalische Verhalten von Schadstoffen im Meerwasser und im Sediment.

Fahrtgebiet:

Kleine Fahrt

Hauptarbeitsgebiete:

Nord- und Ostsee

Hauptabmessungen:

Länge über alles	52,05 m
Länge zwischen den Loten	47,20 m
Länge in der CWL	49,00 m
Breite auf Spanten	11,40 m
Seitenhöhe bis Backdeck	8,57 m
Seitenhöhe bis Hauptdeck	5,25 m
Freibordtiefgang bis U.K. Kiel	3,45 m
Konstruktionstiefgang	3,15 m
Bruttoreumgehalt	908,72 RT
Bruttoreumzahl (BRZ)	969
max. Geschwindigkeit	11,6 kn

Wissenschaftliche Räume:

1 Naßlabor	17,3 m ²
1 Taucherraum/Labor	30,0 m ²
1 Elektronikwerkstatt	2,7 m ²
1 Vermessungsraum	25,0 m ²
1 kleiner Laderaum für wissenschaftliche Zuladung	
1 Hydrographenschacht	
Stellplätze für Laborcontainer	
(2 × 20' übereinander und 1 × 10' bzw. 6 × 10').	

Sonstige wissenschaftliche Einrichtungen:

1 elektro-hydraulischer Arbeitskran	48 kN
Ausladung	12,5 m (24 kN)
1 hydraulisch betätigter Seitenausleger	42 kN
1 hydraulisch betätigter Schwenkdavit	30 kN
2 Schleppdavit	30 kl
1 Drahtwinde	50 kN
	600 m Drahtseil (16 mm Ø)
1 Heckseilankerwinde	50 kN
	250 m Drahtseil (24 mm Ø)
1 hydraulische Einleisterserienwinde	8,5 kN
	600 m Einleiterkabel (8,2 mm Ø)

Technische Besonderheiten:

- 2 Tageslicht-Radaranlagen, X- und S-Band
- 1 Doppler-Log
- 1 EM-Log
- 1 Side-Scan-Sonaranlage
- 1 Horizontallotanlage
- Vermessungs- und Navigationslote
- 1 Fächerlotanlage Hydrosweep MD
- 1 Seegangskompensator
- Vermessungs- und Auswertanlagen
- 1 Interling-Schlingerdämpfungsanlage
- je 1 Funknavigationsempfänger MNS 2000, RS 4000, Syledis, GPS AX 4000
- 1 automatische Bordwetterstation (ABWST)
- 1 komplett eingerichtete Funkstation incl. Satellitenanlage
- 2 7,8 m lange Alu-Boote mit Jetantrieb und Vermessungsanlagen (Echolote, Datenverarbeitungsanlagen, Syledis- und Decca-Positionierungsverfahren), davon ein Boot zusätzlich für Tauchereinsatz ausgerüstet.
- 1 3-Mann-Taucherdruckkammer
- umfangreiche Taucherausrüstung

Maschine, Antrieb:

- Elektrischer Gleichstrommotor mit einer Leistung von 760 kW als Antrieb. Die elektrische Leistung wird von 2 Dieselmotoren mit je 545 kW und einem Dieselmotor à 288 kW erzeugt, letzterer dient auch als Hafendiesel.
- 1 Notdiesel 10,6 kW
- 1 Schottel-Pump-Jet 530 kW mit 40 kN Schubkraft
- 1 Heckstrahler 48 kW mit 8 kN Schubkraft

ANEXO 02 - VISIBILIDADE DOS SATÉLITES E INFORMAÇÕES SOBRE AS PERDAS DE CICLOS E SOBRE O PDOP

GRÁFICO 2.1 - EM MSD8.

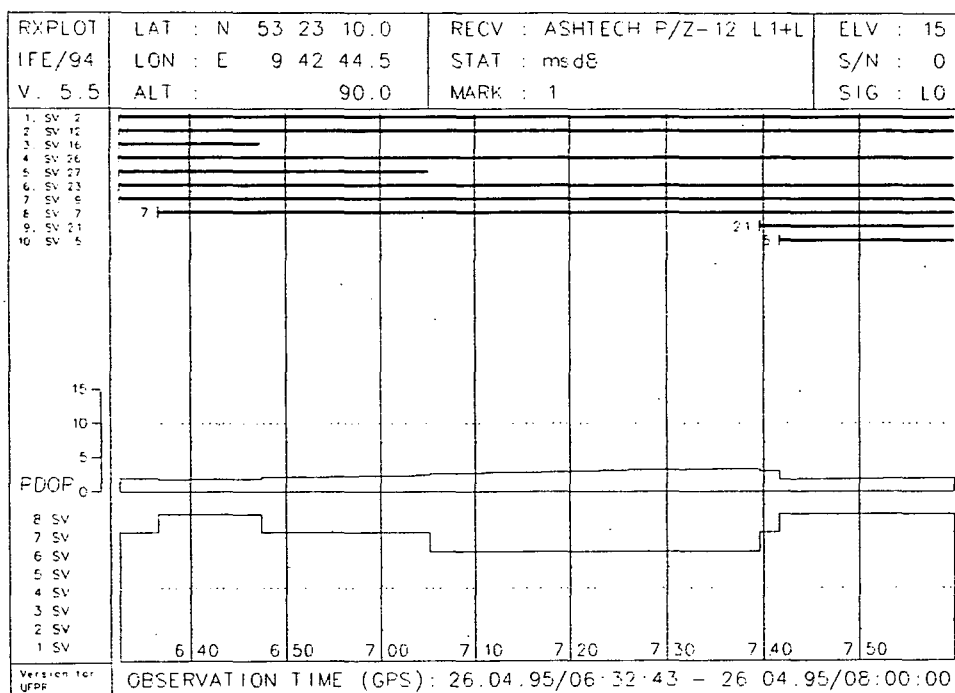
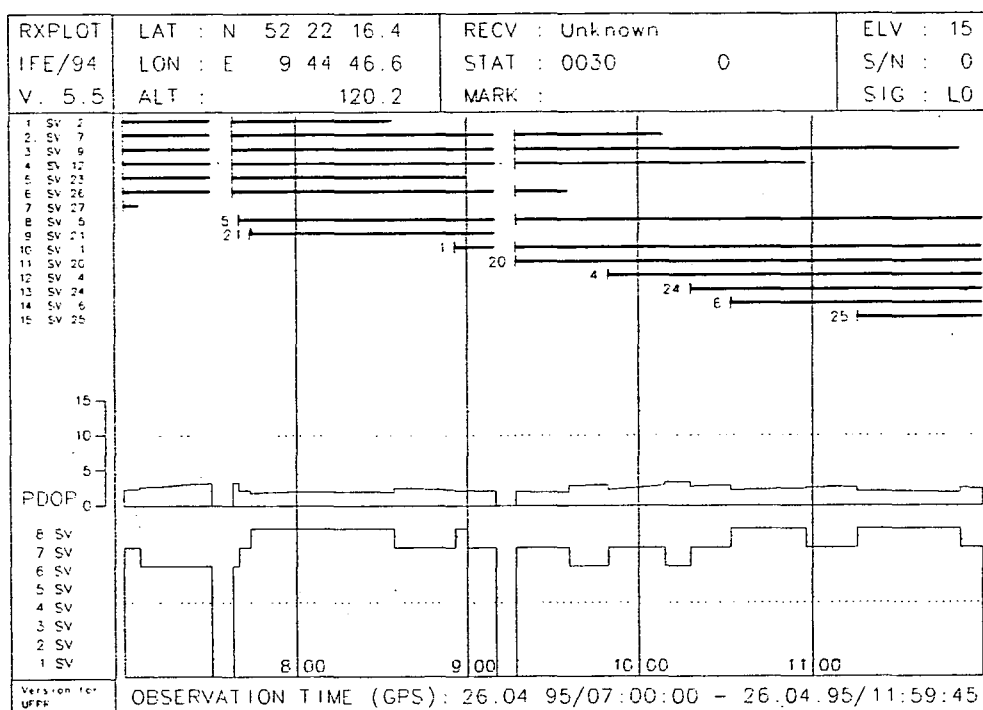


GRÁFICO 2.2 - EM 0030.



ANEXO 03 - ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES VISÍVEIS

GRÁFICO 3.1 - EM MSD8.

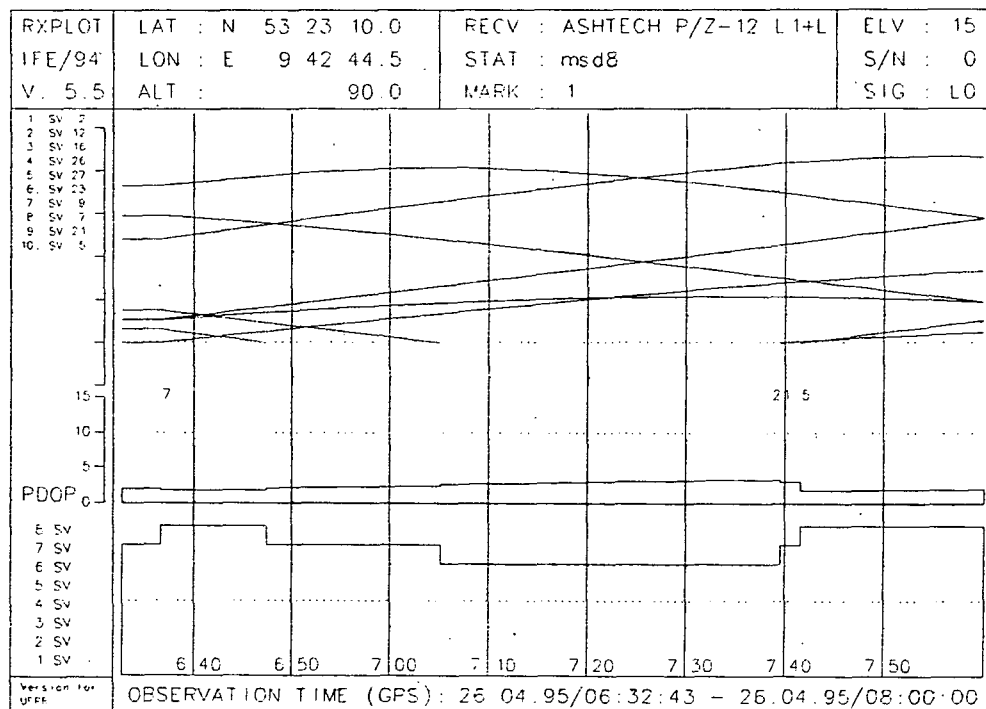
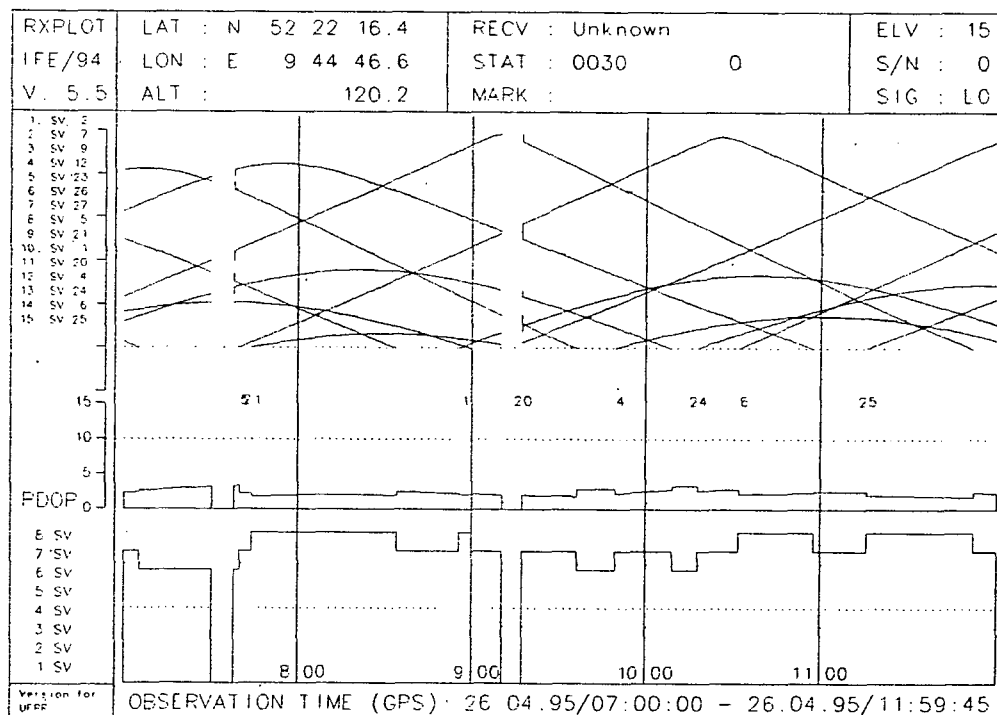


GRÁFICO 3.2 - EM 0030.



ANEXO 04 - BASE CURTA (HELG/ASBM)
GRÁFICO 4.1 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS R (BC3 - BC1)

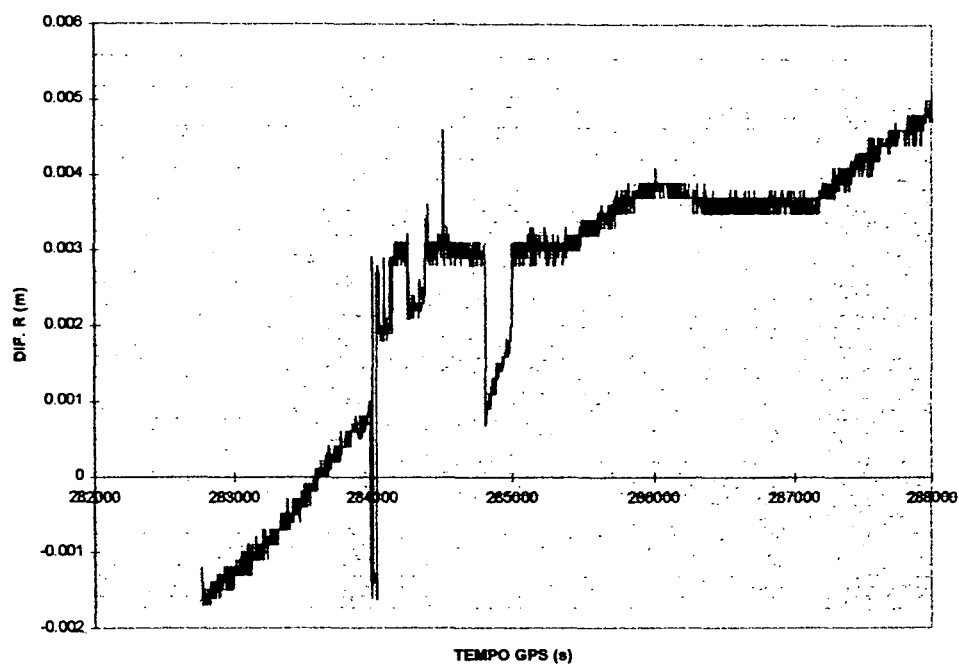
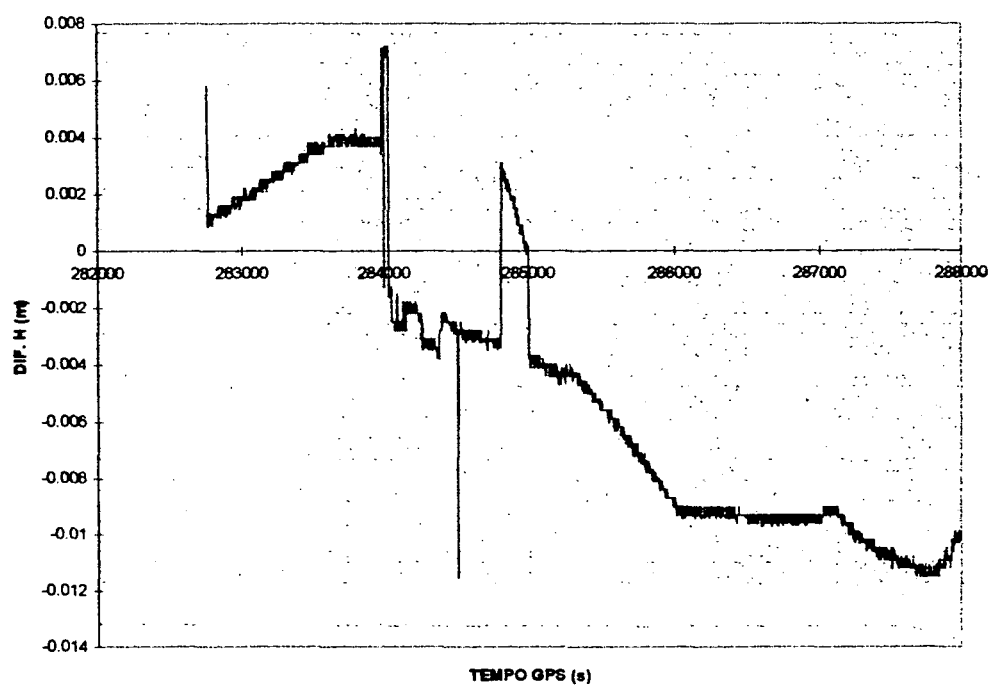


GRÁFICO 4.2 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS H (BC3 - BC1)



ANEXO 05 - BASE CURTA (HELG/ASBM)
GRÁFICO 5.1 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS R (BC2 - BC4)

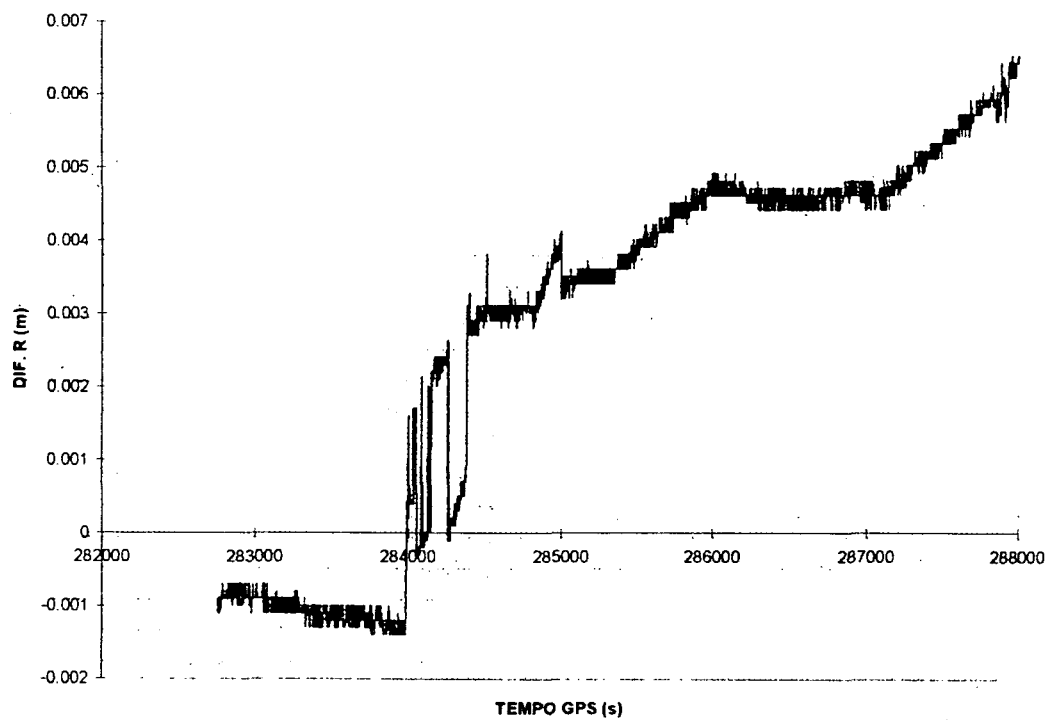
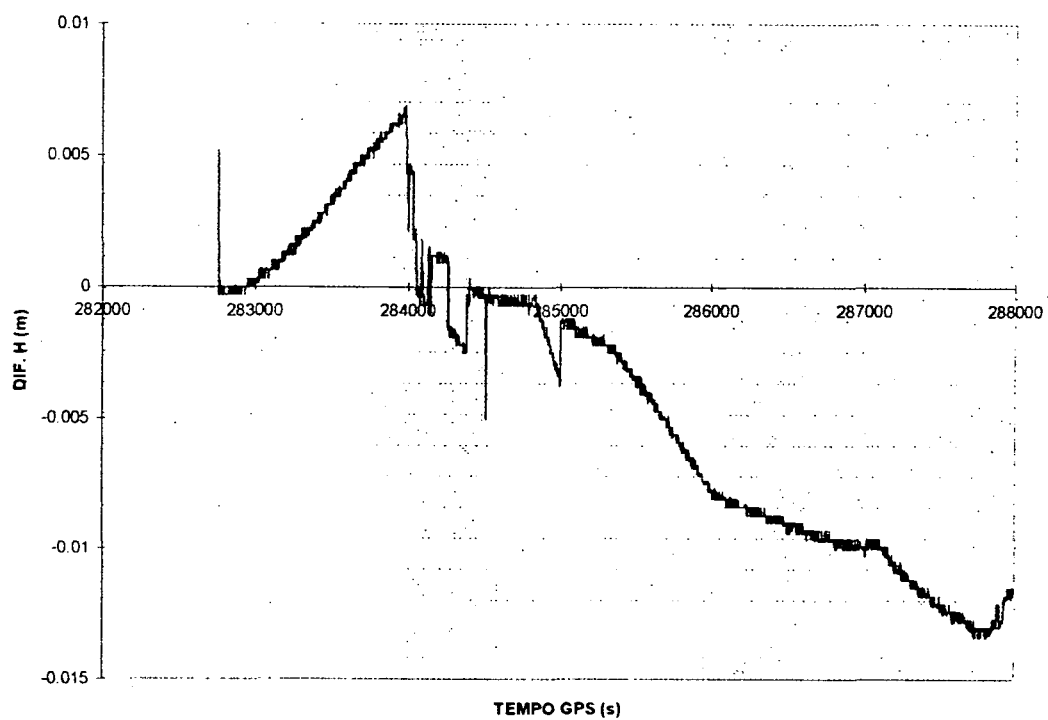


GRÁFICO 5.2 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS H (BC2 - BC4)



ANEXO 06 - BASE CURTA (HELG/ASBM)
GRÁFICO 6.1 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS R (BC3 - BC4)

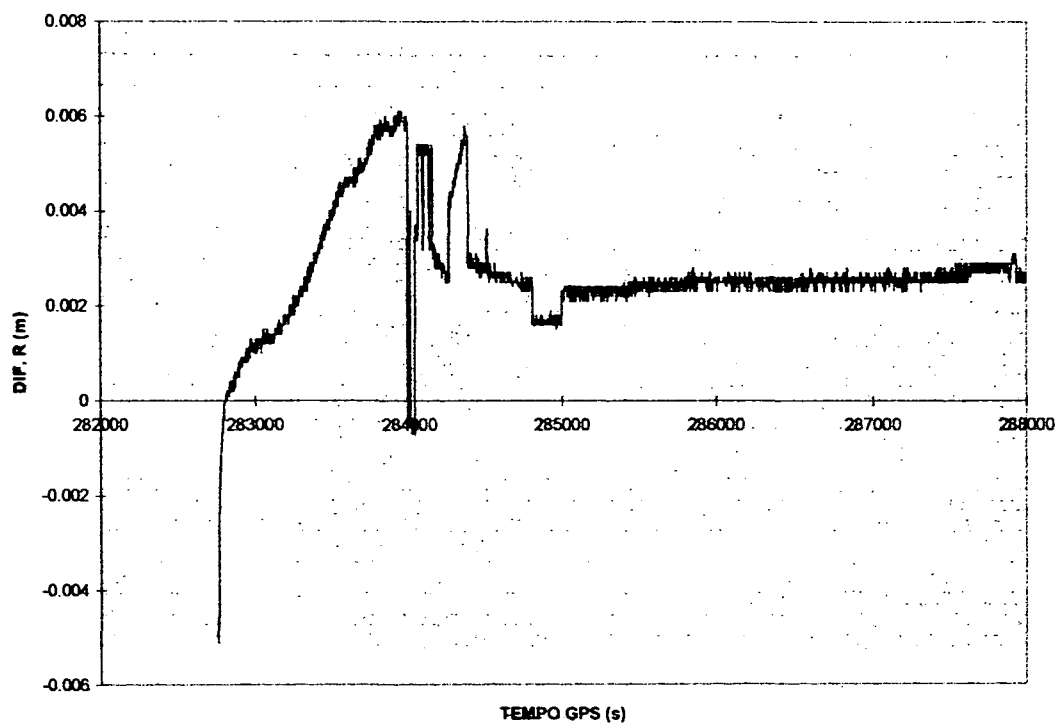
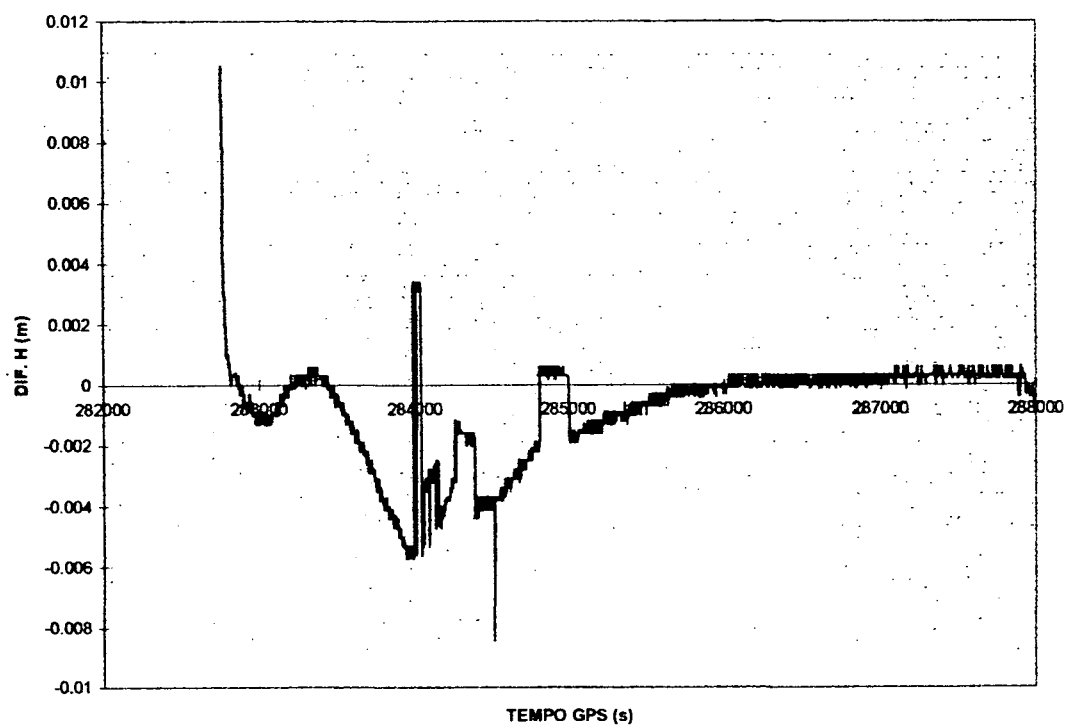


GRÁFICO 6.2 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS H (BC3 - BC4)



ANEXO 07 - 1ª INVESTIGAÇÃO
GRÁFICO 7.1 - ΔR EM FUNÇÃO DO TEMPO

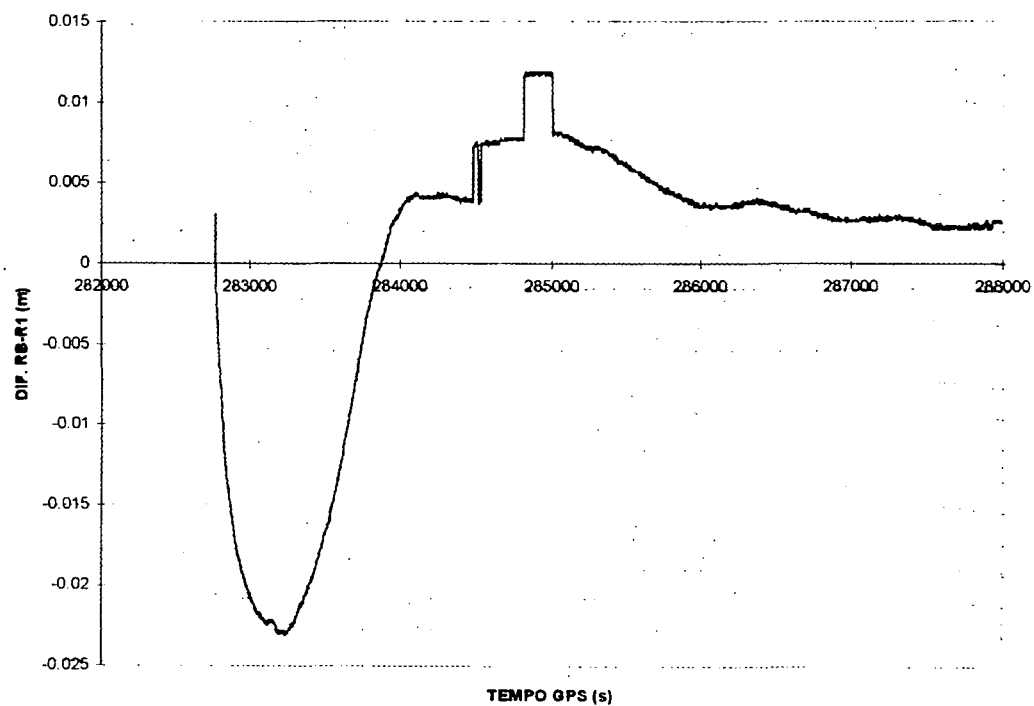
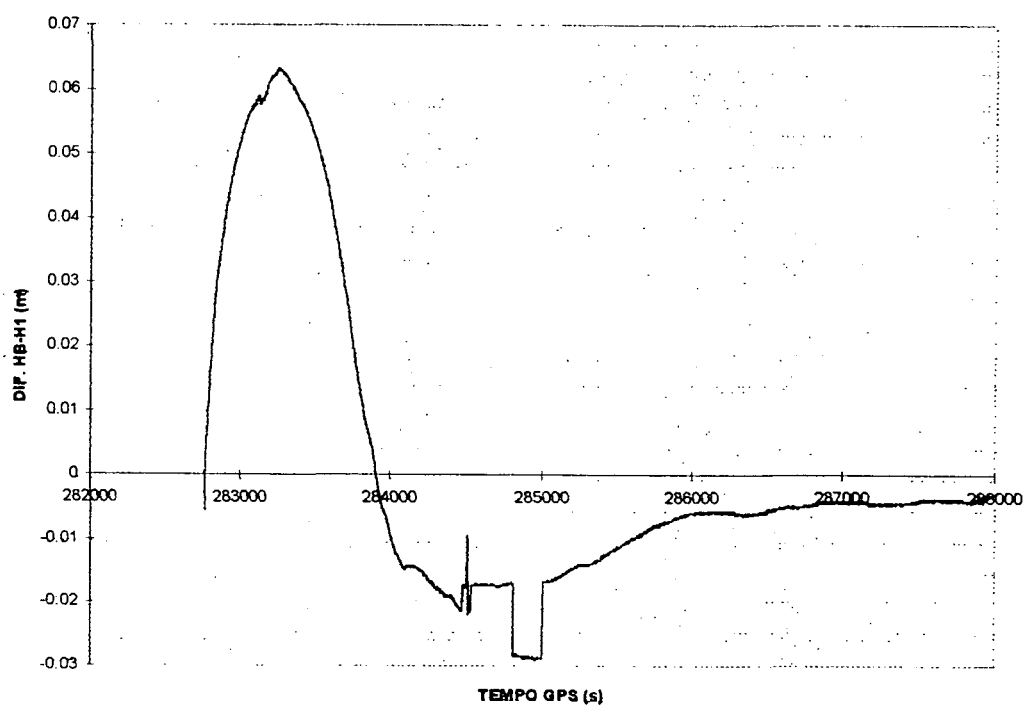


GRÁFICO 7.2 - ΔH EM FUNÇÃO DO TEMPO



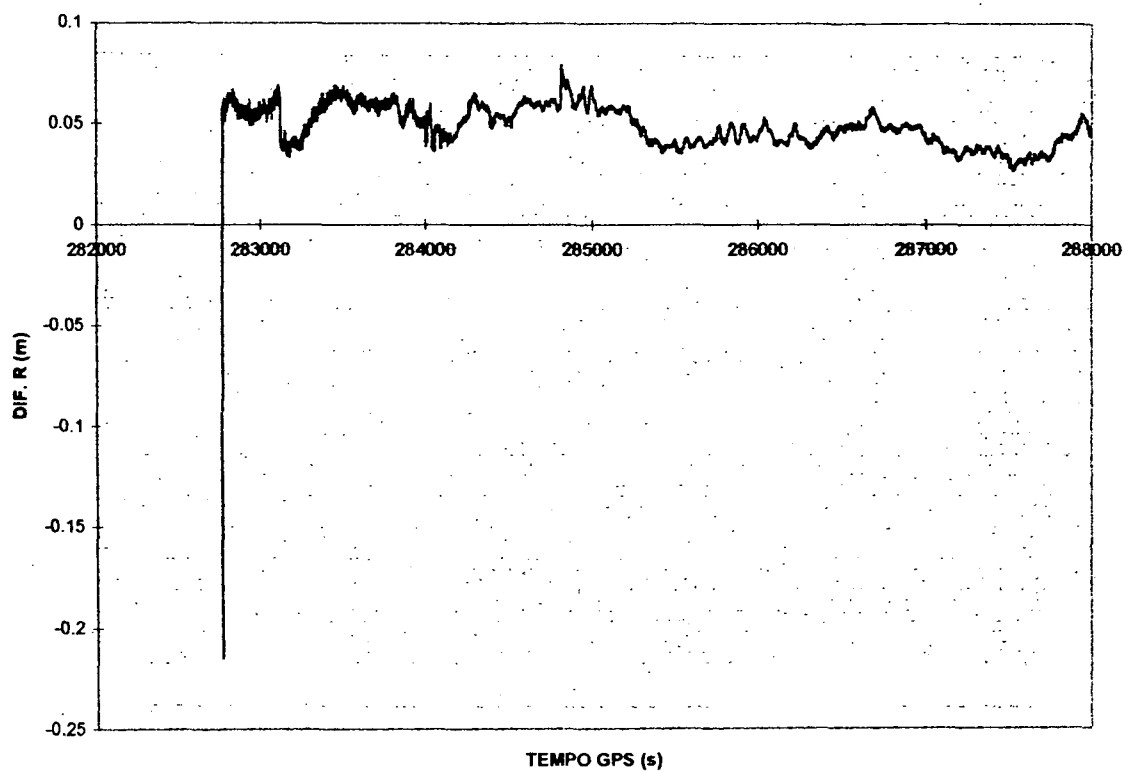
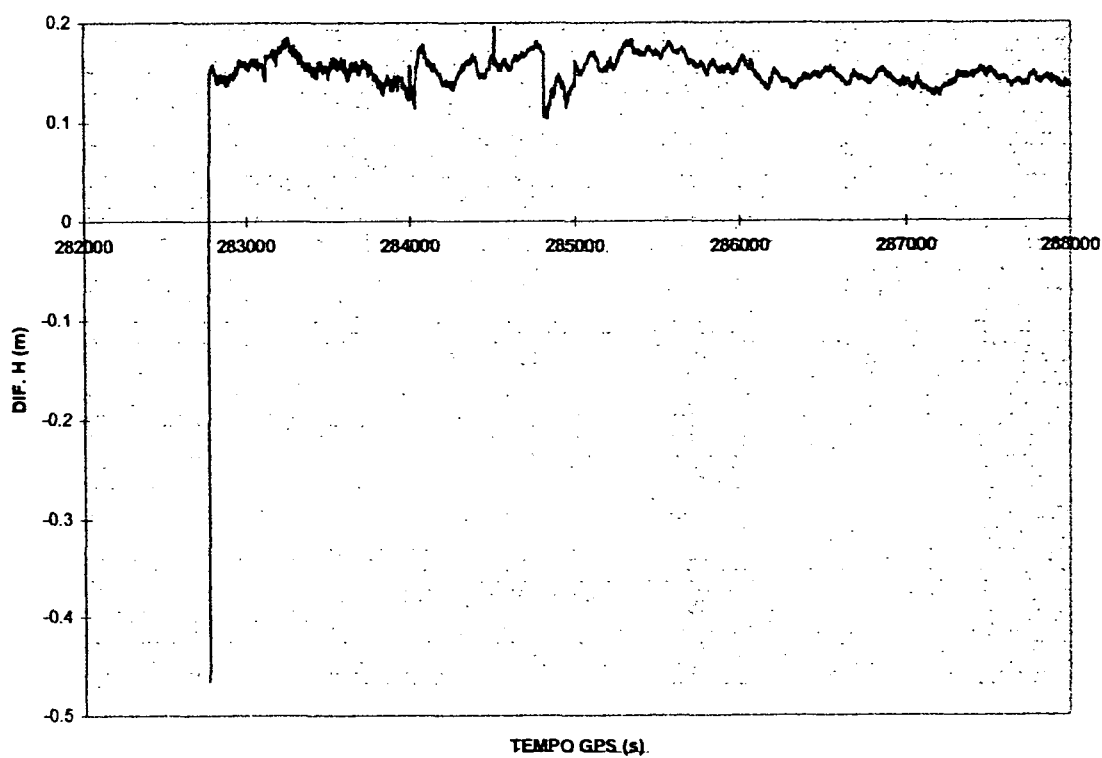
ANEXO 08 - 2ª INVESTIGAÇÃO**GRÁFICO 8.1 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS R (BC3 - BL DA 2ª. INV.)****GRÁFICO 8.2 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS H (BC3 - BL DA 2ª. INV.)**

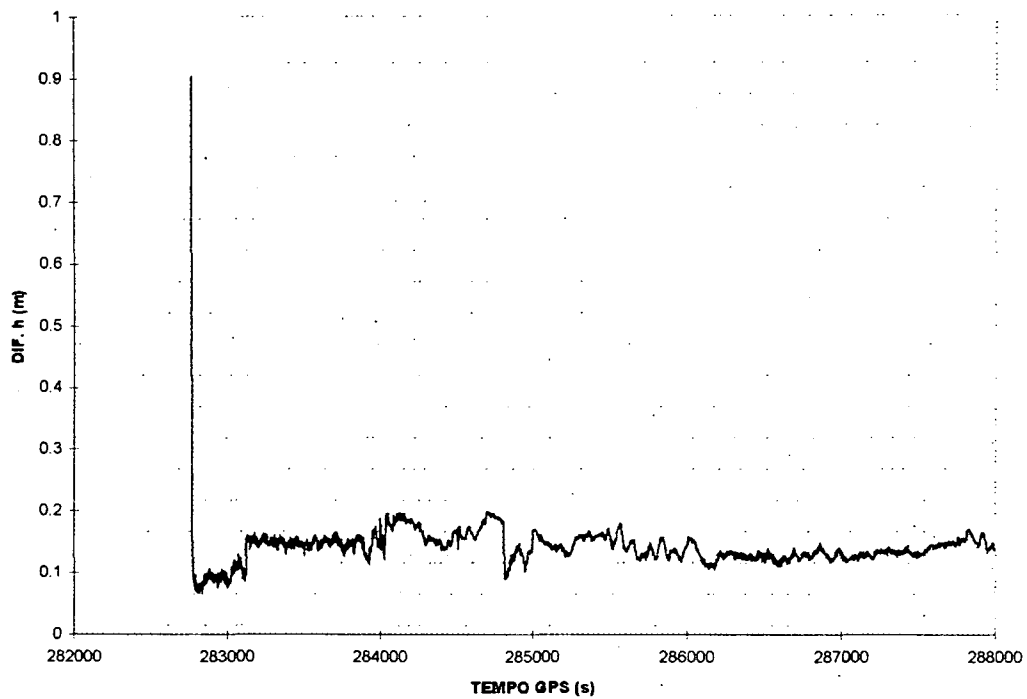
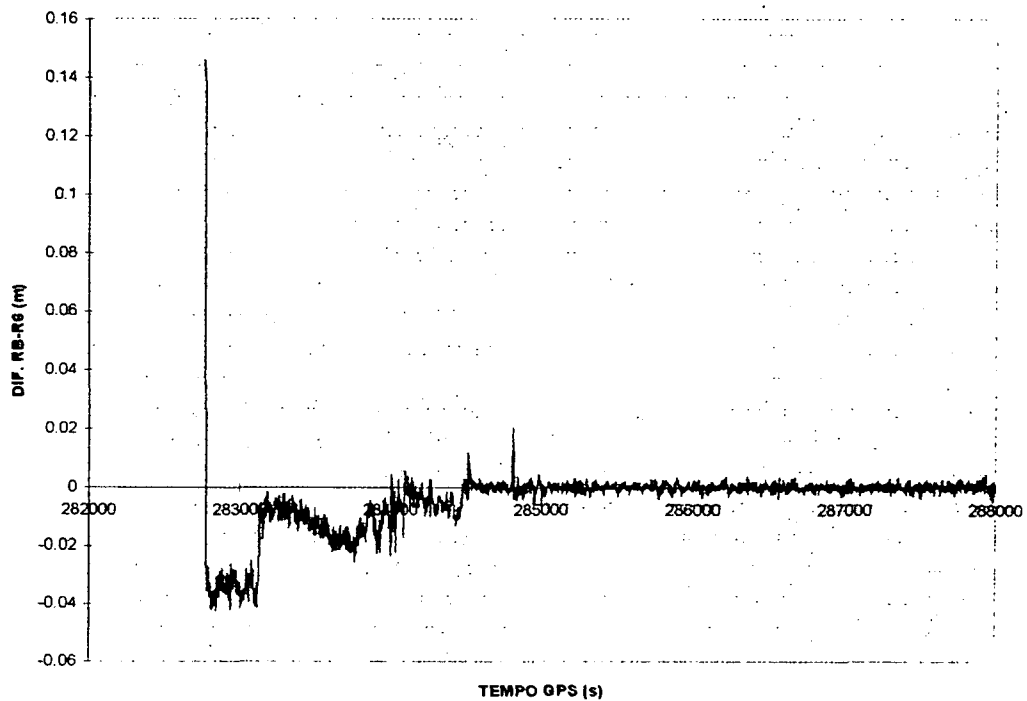
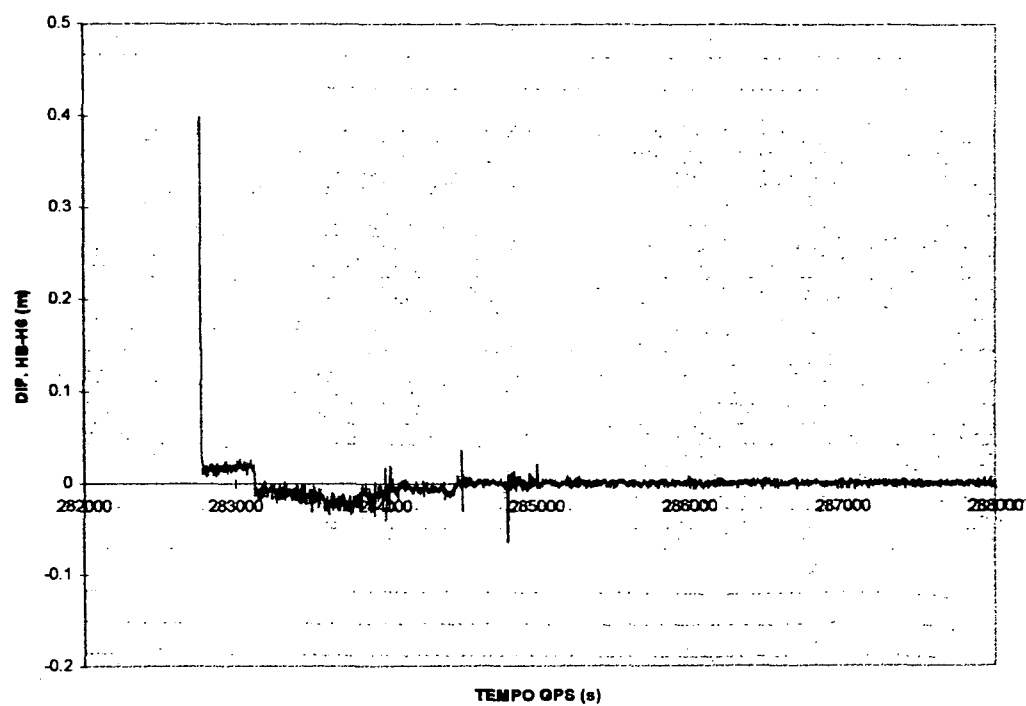
GRÁFICO 8.3 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS COORDENADAS h (BC3 - BL DA 2ª. INV.)**GRÁFICO 8.4 - ΔR EM FUNÇÃO DO TEMPO**

GRÁFICO 8.5 - ΔH EM FUNÇÃO DO TEMPO

**ANEXO 09 - VISIBILIDADE DOS SATÉLITES E INFORMAÇÕES SOBRE
AS PERDAS DE CICLOS E SOBRE O PDQP
GRÁFICO 9.1 - EM PGUA**

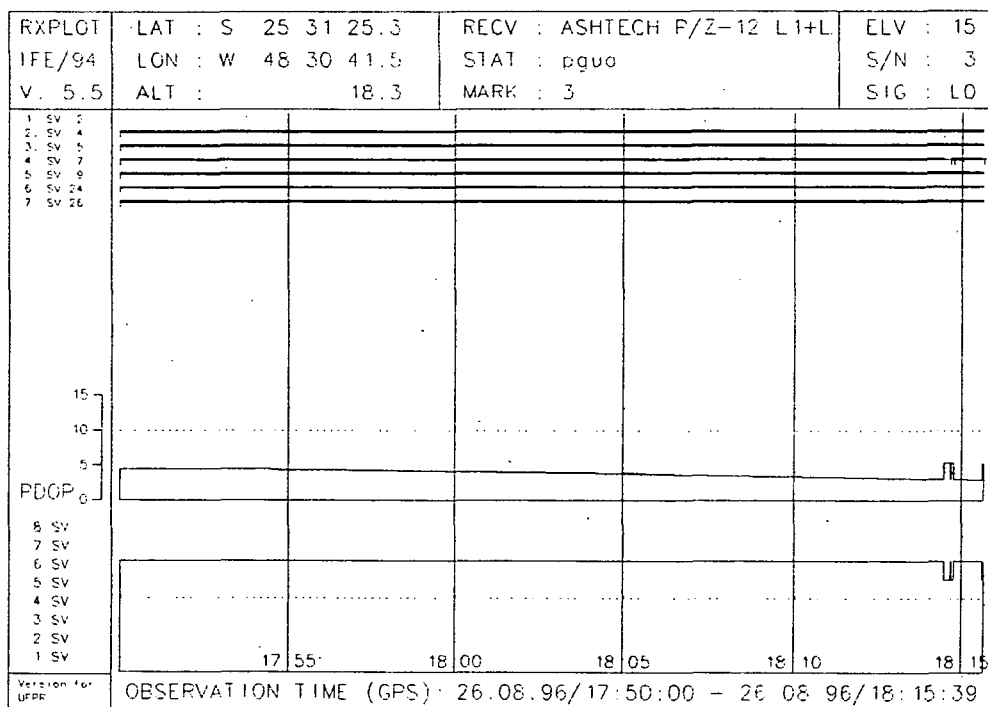
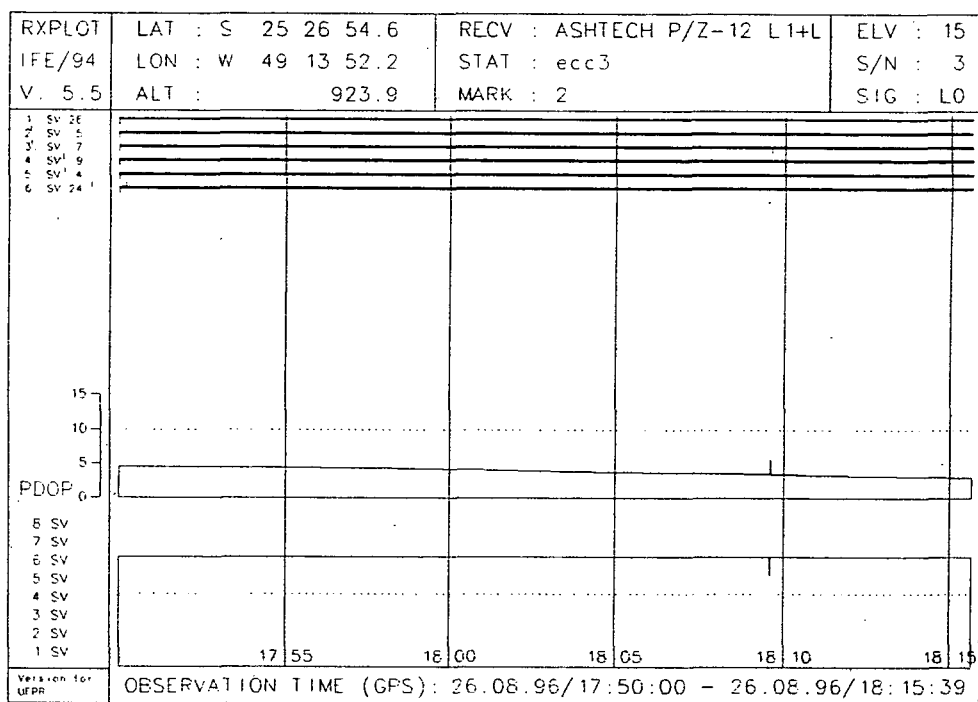


GRÁFICO 9.2 - EM ECC3



ANEXO 10 - ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES VISÍVEIS

GRÁFICO 10.1 - EM PGUA

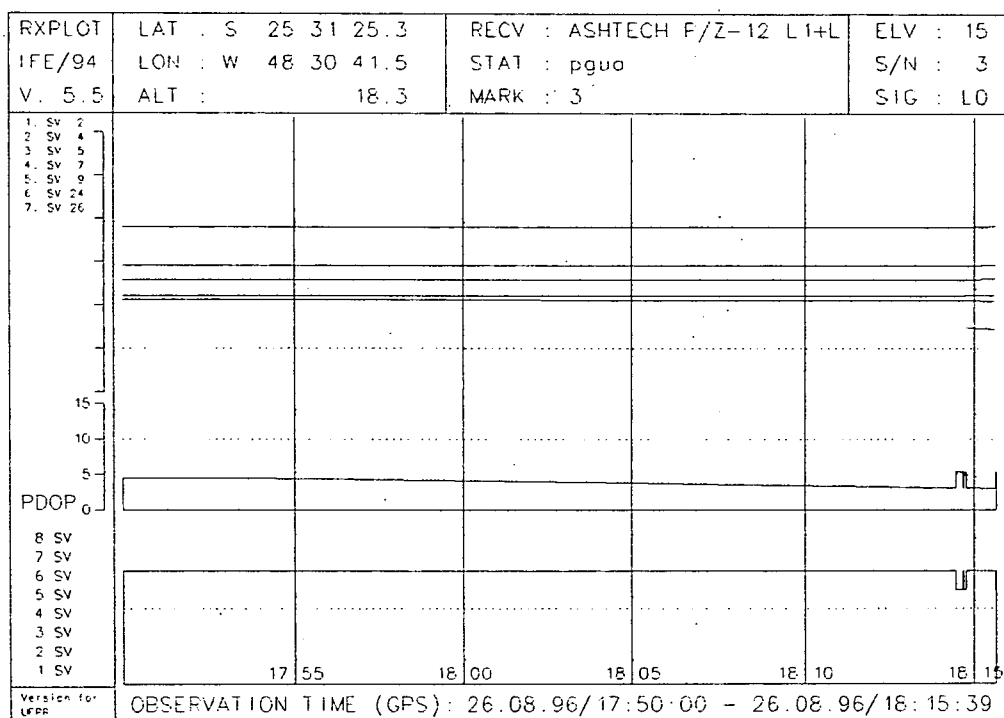
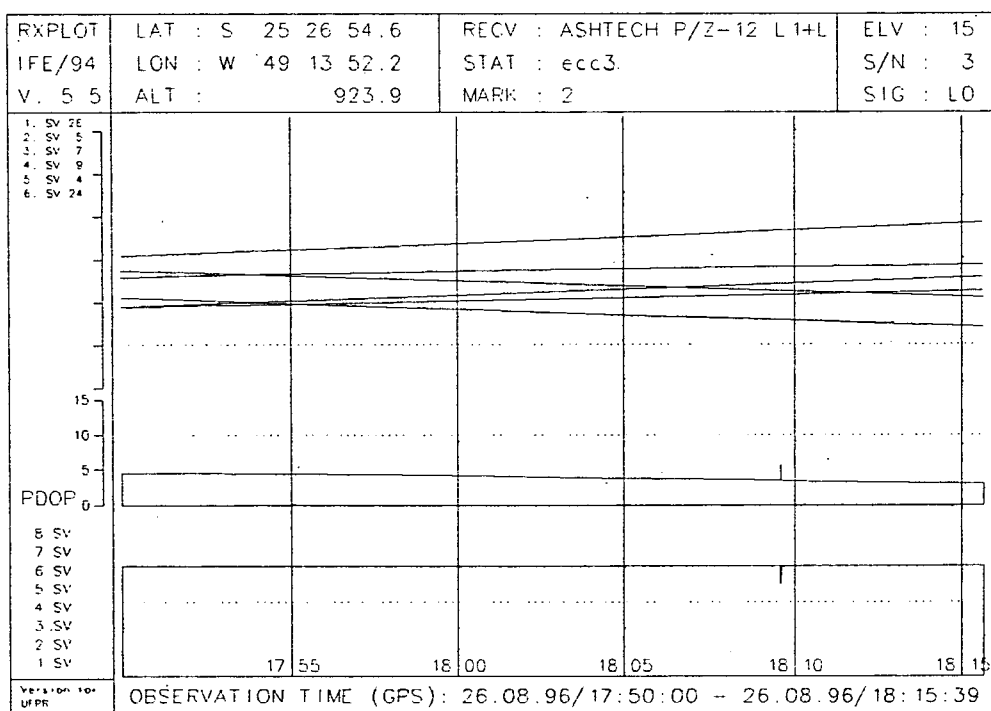
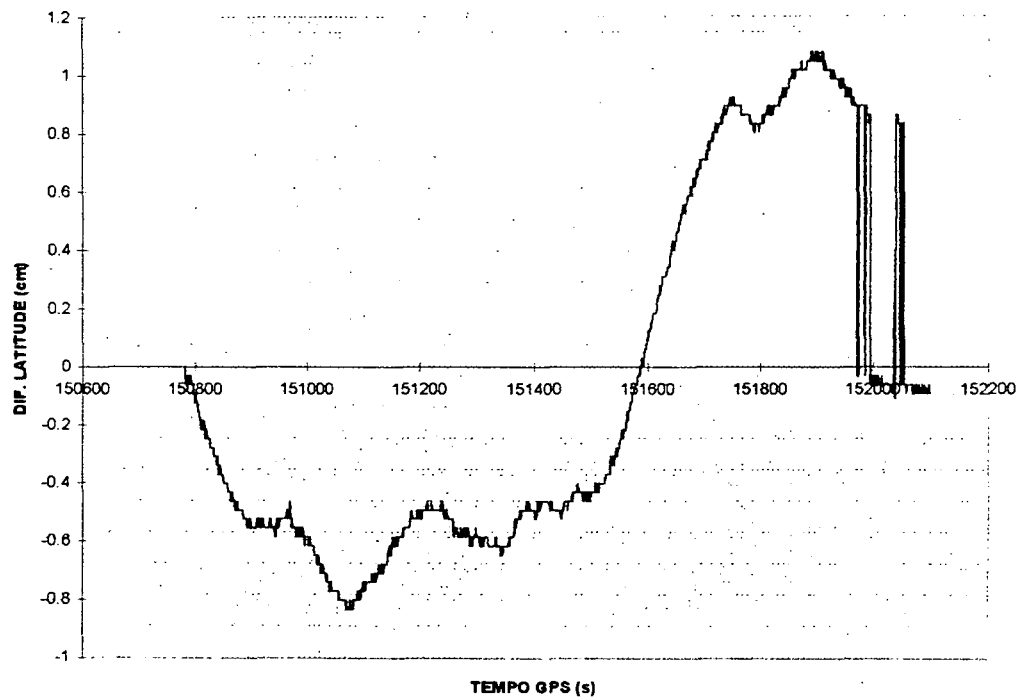
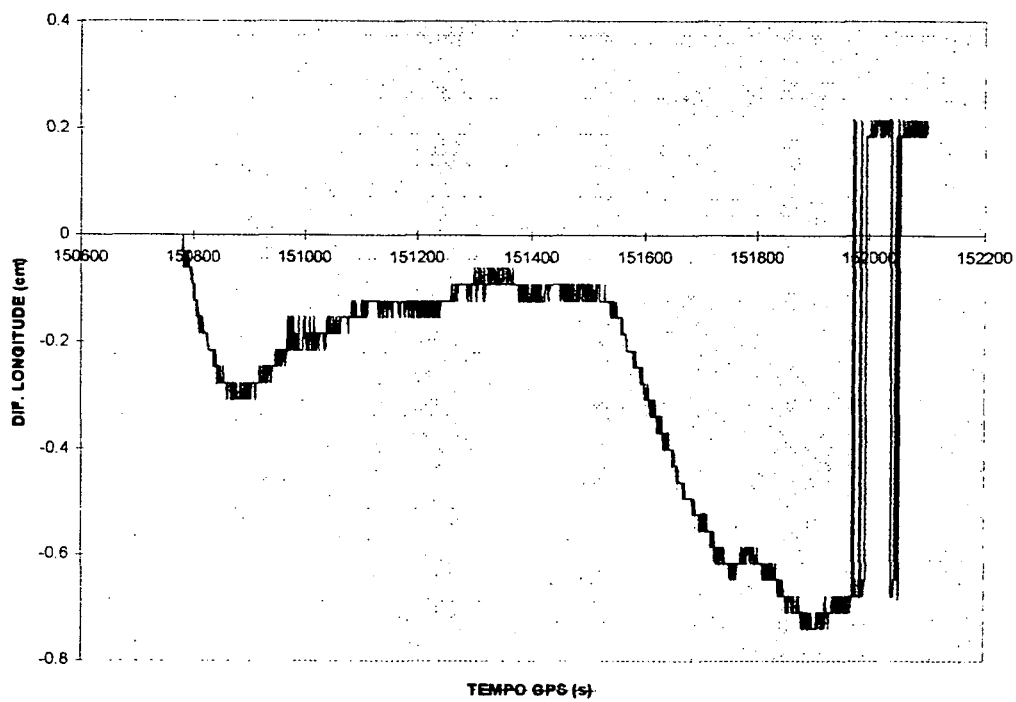


GRÁFICO 10.2 - EM ECC3



ANEXO 11 - BASE CURTA**GRÁFICO 11.1 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LATITUDES (BC2 - BC3)****GRÁFICO 11.2 - DIFERENÇAS OBTIDAS PARA AS LONGITUDES (BC2 - BC3)**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ABIDIN, H.Z. On-the-Fly Ambiguity Resolution. **GPS World**, April, 1994, p.40 à 50.
- 2 AMMERSDÖRFER, R. Optimierung der Beschickung durch Wasseroberflächenmodellierung-Konzeption und erste Arbeiten. **Hydrographische Vermessung - Heute-, Vorträge des 37. DVW-Seminar**, p.92 à 102, 28.-29. März 1995, Universität Hannover.
- 3 ANDREE, Peter. DGPS - Anwendungen in der Hydrographie - Peilung, Tiefgang- und Radarleitlinienüberprüfung. **DGPS - Anwendungen - DGPS zum Anfassen, DVW - Praxisseminar**, p.01 à 22, 19.-20. September 1995, Hamburg.
- 4 ASHTECH Z-12 TM GPS Receiver. **Operating Manual**. May 1994.
- 5 AUGUST, P.V. Using Computer Mapping to Manage the Coastal Zone. **Maritimes**, p. 13 à 15, Winter 95.
- 6 BAUER, M. **Vermessung und Ortung mit Satelliten: NAVSTAR-GPS und andere satellitengestützte Navigationssysteme**, 3. ed. , Wichmann Verlag, 1994.
- 7 BEHRENS, J. Vergleich von Flächen- und Querprofilaufnahmen in Tal- und Felsstrecken des Rheins. **Hydrographische Objektvermessung, Vorträge des 27. DVW-Seminars**, FH Oldenburg, p.101 à 109, 18.-19. April 1991.
- 8 BEHRENS, J. GPS in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung- derzeitiger Stand und Entwicklungstendenzen. Referatsleiter M5 Geodäsie, Bundesanstalt für Gewässerkunde. **Schriftenreihe** 11/93, p. 305 à 323, 1993, Koblenz.
- 9 BEUTLER, G.; WEBER, R. Der Internationale GPS Dienst für Geodynamik (IGS). **GPS-Leistungsbilanz'94, Beiträge zum 34. DVW-Seminar**, p92 à 106, 05.-07. Oktober 1995, Geodätischen Institut, Universidade de Karlsruhe.
- 10 BLACK, H.D. An easily implemented algorithm for the tropospheric range correction. **JGR 83, B4** ,1978.
- 11 BÖDER, V. **Zur Nutzung Relativer GPS - Systeme für die hochpräzise kinematische Positionsbestimmung**. Hannover, 1994. Diplomarbeit, Institut für Erdmessung - Universität Hannover.
- 12 CAMPOS, M.A.; SEEGER, G., WÜBBENA, G. Positioning with GPS in Brazil. **Proc. 5th Intern. Geod. Symp. Satellite Positioning**, Vol.1, 526-535, Las Cruces 1989.

- 13 CAMPOS, M.A.; FORTES, L.P.S. et al. GPS Network in Brazil. **International Association of Geodesy-General Meeting**, Beijing/China, 1993.
- 14 CRIOLLO, A.R.T. **Comparação da Precisão dos Métodos Cinemáticos para distâncias Menores a Dez Quilômetros**. Nov, 1993. Dissertação de mestrado em Ciências Geodésicas - Universidade Federal do Paraná.
- 15 DeLOACH, S.R., WELLS, D., DODD, D. Why On-the-Fly? **GPS World**, p.53 à 58, May 1995.
- 16 DIGITRACE. Precision Depth Sounder Digitizer. **Instruction Manual**. Odom Hydrographic Systems, Inc., Louisiana, U.S.A.
- 17 DÜNCK-KERST, G., BÖTH, H., WIRTH, H. **Genauigkeitsuntersuchung der WSV-DGPS-Referenzstation wustrow mit verschiedenen Bordempfängern**. Bundesanstalt für Gewässerkunde BfG-0914, Koblenz, August, 1995.
- 18 ECHO SOUNDER - MODEL SDH-13A. **Instruction Manual**, Odom Hydrographic Systems, Inc. Louisiana, U.S.A.
- 19 EBERLE, Ludwig. **Satellite Navigation (GPS) in Combination with Echosounding**. Munich Polytechnic/Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, Final project, March 1994.
- 20 **ESPECIFICAÇÕES PARA LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS. Critérios de Classificação de Sondagens em Grandes Profundidades**. 1ª edição, 1989, IHO.
- 21 EVANS, A.G., HERMANN, B.R. **A comparison of several techniques to reduce signal multipath from the Global Positioning System**. In: Bock, Leppard (eds.), 74-81, 1990.
- 22 FELIX, L.A. Algumas considerações sobre levantamento hidrográfico em grande escala. **Seminário apresentado no curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas**, 1996, Universidade Federal do Paraná.
- 23 FRANCO, A.S. **TIDES - Fundamentals, Analysis and Prediction**. Chapter 11, p.211 à 225. FCHT- Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica.
- 24 FREI, E., BEUTLER, G. Rapid static positioning based on the fast ambiguity resolution approach: the alternative to kinematic positioning. **GPS '90**, 1196-1216, Ottawa, 1990.
- 25 GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Física**. Curitiba, 1981, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - Universidade Federal do Paraná.
- 26 GEMAEL, C. **Geodésia Celeste**. Curitiba, 1991, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - Universidade Federal do Paraná.

- 27 GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações**. Curitiba, 1994, Editora UFPR - Universidade Federal do Paraná.
- 28 **GEONAP REFERENZ HANDBUCH**. GEOSPACE-Gesellschaft für Satellitengestützte Geodätische und Navigatorische Technologien mbH, 1992, Germany.
- 29 GEORGIADOU, Y., KLEUSBERG, A. On carrier signal multipath effects in relative GPS positioning. **Man. Geod.** 13, 172-179, 1988.
- 30 GLOBAL POSITIONING SYSTEM - STANDARD POSITIONING SERVICE - SIGNAL SPECIFICATION. **GPS NAVSTAR**, 2nd Edition, June 2, 1995.
- 31 GNRT, GPS-Positionierung in Echtzeit. **Technical Manual**, GEO++-Gesellschaft für satellitengestützte geodätische und navigatorische Technologien mbH, Garbsen, Alemanha, 1996.
- 32 GOLDAN, H.-J. Tide Observations with kinematic GPS on ships. **Proceedings INSMAP 94**, p.585 à 594, 19.-23. September 1994, University of Hannover, Hannover, Germany.
- 33 GOLDAN, H.-J., SEEBER, G., DENKER, H., BEHREND, D. Precise Height Determination of the Tide Gauge Helgoland. **Proceedings International Symposium on marine Positioning.-INSMAP 94**. University of Hannover, p.556 à 565, Hannover, Germany, September 19-23, 1994.
- 34 GOLDAN, H.-J., SEEBER, G., TORGE, W. **Präziser Höhenanschluß des Helgoländer Pegels**. Schlußbericht zum BMFT-Forschungsvorhaben, Institut für Erdmessung, Juni 1995, Universität Hannover.
- 35 HAKE, G., GRÜNREICH, D. **Kartographie**. Walter de Gruyter & Co., 1994, Berlin.
- 36 HANKEMEIER, P. Neue Wege zur Bereitstellung geodätischer Bezugssysteme. DGPS - Dienst der Vermessungsverwaltungen. **Zeitschrift SPN 3/95**. p.80 à 88.
- 37 HANKEMEIER, P. The DGPS Service for the FRG - Concept and Status. GPS Trends in Precise Terrestrial, Airbone, and Spaceborne Applications. **Symposium No. 113**. Boulder, Colorado, USA, July 3-4, 1995. p.75 à 84.
- 38 HATCH, R. **Instantaneous ambiguity resolution**. In: Schwarz, Lachapelle (eds.), 477-487, 1991.
- 39 HECK, B. Grundlagen der Satellitengeodäsie. **GPS-Leistungsbilanz'94, Beiträge zum 34. DVW-Seminar**, p10 à 31, 05.-07. Oktober 1994, Geodätischen Institut, Universidade de Karlsruhe.

- 40 HEIMBERG, F. **Untersuchungen zum operationellen Einsatz des Differential GPS**. Doktor dissertation, Nr.202, 1994, Institut für Erdmessung, Universität Hannover, Hannover.
- 41 HEIMBERG, F., SEEBER, G. **Präzisionsortung und -navigation für die geowissenschaftliche Meersforschung**. Abschlußbericht zum BMFT-Forschungsvorhaben, 03 R 600, Institut für Erdmessung, Juni, 1993, Universität Hannover.
- 42 HEIMBERG, F., SEEBER, G. **Kinematische Anwendungen von GPS - GPS-eine universelle geodätische Methode**. Schriftenreihe, 11/1993, DVW e.V., Wittwer.
- 43 HYPACK for Windows. **User's Manual**. Coastal Oceanographics, Inc. Durham, U.S.A.
- 44 HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, J.; COLLINS, J. **GPS: Theory and Practice**. Springer Verlag Wien, New York, 3.ed., 1994.
- 45 HOPFIELD, H. Tropospheric effect on electromagnetically measured range: prediction from surface weather data. **Radio Science**, 6, No. 3, 357-367, 1971.
- 46 IBGE. Resolução - PR no. 22. **Boletim de Serviço No. 1602**, 21/07/83.
- 47 ILLNER, M. GPS-Systembeschreibung. **GPS-Leistungsbilanz'94, Beiträge zum 34. DVW-Seminar**, p32.à 48, 05.-07. Oktober 1995, Geodätischen Institut, Universidade de Karlsruhe.
- 48 ILLNER, M. Aspekte der Planung von GPS-Beobachtungen. **GPS-Leistungsbilanz'94, Beiträge zum 34. DVW-Seminar**, p49.à 60, 05.-07. Oktober 1994, Geodätischen Institut, Universidade de Karlsruhe.
- 49 INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION. Special publication, No. 44, Fourth Edition, 1996, Monaco.
- 50 KLOBUCHAR, J.A. Ionospheric effects on GPS. **GPS World**, 48-51, 1991.
- 51 KRUEGER, C.P. **Posicionamento Cinemático de Trens**. Jan., 1994. Dissertação de mestrado em Ciências Geodésicas - Universidade Federal do Paraná.
- 52 LEICK, A. **GPS SATELLITE SURVEYING**. 2^a Edition, Wiley-Interscience Publication, 1995.
- 53 LANGLEY, R. Communications links for DGPS. **GPS World**, p.47 à 51, May 1993.
- 54 LEMMENS, R.L.G. **Dynamic GPS height determination in the decimeter level for bathymetric applications**. Faculty of Geodetic Engineering, July, 1993, Delft University of Technology.

- 55 MADER, G.L. Ambiguity function techniques for GPS phase initialization and kinematic solutions. **GPS '90**, Ottawa, 1248-1256, 1990.
- 56 MÜLLER, A. NAVSTAR Global Positioning System- Was-kommt danach?. **GPS-Leistungsbilanz'94, Beiträge zum 34. DVW-Seminar**, p80.à 91, 05.-07. Oktober 1995, Geodätischen Institut, Universidade de Karlsruhe.
- 57 PIJAROWSKI, D. **Gezeiten, Bezugshorizont, Beschickung**. Vortragsdokumentation - Einführung in die Hydrographie, Deutscher Verein für Vermessungswesen (DVW), 24.-25. Mai 1984, Hamburg.
- 58 PUGH, D.T. **TIDES. SURGES and MEAN SEA-LEVEL**. Chapter 09, p.300 à 334.
- 59 ROHDE, H.P. Beschickung von Lotungen. **Deutsche Hydrographische Gesellschaft, DHyG-INFO**, Nr. 015, Juni, 1989.
- 60 ROMÃO, V.M.C. **Der Beitrag von GPS zur Bereitstellung des Raumbezugs für Geoinformationssysteme in kartographisch wenig erschlossenen Gebieten**. Tese, Nr.210, Institut für Erdmessung, Hannover, 1995.
- 61 ROSENGARTEN, H. **Ein geometrisches Modell der Wasseroberfläche zur Beschickung von Küstenvermessungen**. Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, Nr. 150, 1987, Hannover.
- 62 ROTHACHER, M.; SCHÄR, S. GPS-Auswertetechniken. **GPS-Leistungsbilanz'94, Beiträge zum. DVW-Seminar**, p122.à 137, 05.-07. Oktober 1995, Geodätischen Institut, Universidade de Karlsruhe.
- 63 **RTCM RECOMMENDED STANDARDS FOR DIFFERENTIAL NAVSTAR GPS SERVICE**. Version 2.1. January 3, 1994. Radio Technical Commission for Maritime Services, Washington, U.S.A.
- 64 SAASTAMOINEN, J.J. Contributions to the theory of atmospheric refraction. **Bull. Geod.** 107, 13-34, 1973.
- 65 SEEGER, G. **Satellitengeodäsie**. Walter de Gruyter, Berlin-New York, 1989.
- 66 SEEGER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. Berlin - New York, 1993.
- 67 SEEGER, G.; SCHMITZ, M.; GOLDAN, H.-J. Precise GPS-Based Positioning at Sea. **Proceedings INSMAP 94**, p. 11 à 24, 19.-23. September 1994, University of Hannover, Hannover, Germany.
- 68 SEEGER, G., SCHMIDTZ M. GPS Status und aktuelle hydrographische Anwendungen. **Hydrographische Vermessung - Heute-, Vorträge des 37. DVW-Seminar**, p.16 à 31, 28.-29. März 1995, Universität Hannover, Hannover.

- 69 SEEBER, G., SCHMIDTZ, M.; BÖEDER, V.; GOLDAN, H.-J.; WÜBBENA, G.
Precise DGPS Positioning in Marine and Airborne Applications. **XXI IUGG Generalversammlung**, Boulder, 1995.
- 70 SOARES, C.R. **Processos Costeiros, Erosão Marinha, Métodos de Monitoramento das Variações da Linha de Costa**. Exame Geral de Qualificação apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente -UNESP, para obtenção do título de doutor, 1995, São Paulo.
- 71 TEUNISSEN, P.J.G., JONGE, P.J. de, TIBERIUS, C.C.J.M. A New Way to Fix Carrier-Phase Ambiguities. **GPS World**, April, 1995, p.58 à 61.
- 72 THIEL, K.-H. GPS-Empfängertechnologie. **GPS-Leistungsbilanz'94, Beiträge zum 34. DVW-Seminar**, p92 à 106, 05.-07. Oktober 1994, Geodätischen Institut, Universidade de Karlsruhe.
- 73 VOGEL, M. Auswertung von GPS-Beobachtungen. **GPS-Leistungsbilanz'94, Beiträge zum 34. DVW-Seminar**, p61 à 79, 05.-07. Oktober 1995, Geodätischen Institut, Universidade de Karlsruhe.
- 74 WANNINGER, L. The Occurrence of Ionospheric Disturbances above Japan and Their Effects on Precise GPS Positioning. **Proceedings of the CRCM 93** Kobe, December 6-11, 1993, p. 175-179.
- 75 WANNINGER, L. Einfluss ionosphärischer Störungen auf präzise GPS-Messungen in Mitteleuropa. **GPS-Leistungsbilanz'94, Beiträge zum 34. DVW-Seminar**, p218 à 232, 05.-07. Oktober 1995, Geodätischen Institut, Universidade de Karlsruhe.
- 76 WELLS, D.E., KLEUSBERG, A. Feasibility of a Kinematic Differential Global Positioning System. **Technical Report DRP-92**, 1. March 1992, Department of the Army.
- 77 WIRTH, H., BRÜGGEMANN, T. Untersuchung der erreichbaren Ortungsgenauigkeit mit dem verfahren Differential-GPs (DGPS) - Teil II. **Abschlußbericht BfG-0777**, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Oktober 1993, Koblenz.
- 78 WIRTH, H. Gewässervermessung im Binnbereich der BWaStr mit DGPS-Ortung. **Hydrographische Vermessung - Heute, Vorträge des 37. DVW-Seminar**, p.46 à 56, 28.-29. März 1995, Universität Hannover.
- 79 WIRTH, H., BRÜGGEMANN, T. Peilsystem HYMAS mit satellitengestützter Ortung auf dem MB "Hamster". **Abschlußbericht zum Pilotprojekt. Bf-0943**, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Dezember, 1995, Koblenz.
- 80 WÜBBENA, G. **Zur Modellierung von GPS-Beobachtungen für die hochgenaue Positionsbestimmung**. Tese, Nr.168, Institut für Erdmessung, Universität Hannover, 1991.

- 81 WÜBBENA, G., BAGGE, A. GPS-bezogene Ortungssysteme. Beitrag zum 37. DVW-Seminar **Hydrographische Vermessung - Heute-, Vorträge des 37. DVW-Seminar**, 28.-29. März 1995, Universität Hannover.
- 82 WÜBBENA, G., BAGGE, A. Präzises DGPS in Echtzeit für Vermessung und GIS-Anwendungen. **Beitrag zum DVW-Praxisseminar DGPS-Anwendungen**, 19.-20. Sept. 1995, Hamburg, p.01 à 16.
- 83 WÜBBENA, G., MENGE, F., SCHMITZ, M., SEEBER, G., VOLKSEN, C. A New Approach for Field calibration of Absolute Antenna Phase Center Variations. **ION GPS-96**, Kansas City, Missouri.
- 84 WÜBBENA, G., BAGGE, A., SEEBER, G., BÖDER, V., HANKEMEIER, P. Reducing Distance Dependent errors for Real-Time Precise DGPS Applications by Establishing Reference Station Networks. **ION GPS-96**, Kansas City, Missouri